



**UNIVERSIDAD ANDRÉS BELLO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE OBRAS CIVILES**

**INCORPORACIÓN DEL CONCEPTO TROGLODITA EN LA CIUDAD DE CONSTITUCIÓN,
REGIÓN DEL MAULE, CHILE.**

Memoria para optar al Título de Ingeniero Constructor

EDUARDO FELIPE SAAVEDRA GIL

Profesor Guía
ANDRÉS IGNACIO VARGAS FLORES

**SANTIAGO DE CHILE
DICIEMBRE 2013**

Agradecimientos,

Al profesor Andrés Ignacio Vargas Flores por su tiempo, colaboración y constancia al desarrollo de esta tesis. Los cuales me llevaron a innovar y afrontar nuevo desafíos.

A la escuela de Obras Civiles por la entrega de los conocimientos otorgados.

A mi madre por su apoyo y constante dedicación; convirtiéndose en un pilar fundamental durante el transcurso de la carrera, tesis y el proceso de titulación.

Índice de contenido

PRESENTACIÓN	1
INTRODUCCIÓN AL CONCEPTO DE VIVIENDA TROGLODITA	1
CLASIFICACIÓN DE LA VIVIENDA TROGLODITA.....	3
BENEFICIOS ECOEFICIENTES DE LA EDIFICACIÓN SUBTERRÁNEA	5
ESCASEZ DE SUELO EN LA CIUDAD DE CONSTITUCIÓN, REGIÓN DEL MAULE DE CHILE ...	9
OBJETIVOS DE INVESTIGACIÓN	12
ARGUMENTOS ECOEFICIENTES DEL HABITÁT TROGLODITA.....	13
ALMACENAMIENTO DE CALOR ANUAL PASIVO	13
VENTILACIÓN PASIVA.....	22
METODOLOGÍA.....	30
CASO DE ESTUDIO	30
DEFINICIÓN DE VARIABLES DE ESTUDIO Y MÉTODO	36
<i>Propuesta integral de la vivienda troglodita</i>	36
<i>Variables de estudio</i>	37
PROPUESTA	39
DISEÑO DE LA VIVIENDA BAJO EL CONCEPTO TROGLODITA	39
DISEÑO PLANIMÉTRICO.....	41
EVALUACIÓN TÉRMICA.....	43
DIFERENCIAS DE TEMPERATURA.....	47
EVALUACIÓN ECOEFICIENTE.....	50
CONCLUSIONES.....	56

Índice de figuras

1	Presentación.....	1
1.1	Vivienda construida bajo el concepto troglodita.....	2
1.2	Adaptación de la edificación subterránea.....	3
1.3	Esquema resumen clasificación contacto envolvente/terreno	5
1.4	Esquema de clasificación según tesis de Rudofsky, B.	6
1.5	Muestra el desempeño de la temperatura producido por el efecto isla de calor.....	9
1.6	Muestra el interior de una vivienda en la ciudad de Coober Pedy.....	10
1.7	Una vivienda Turf en Islandia.	11
1.8	Desarrollo de la ciudad forzado debido a las características geográficas.	12
1.9	Área marcada por la inundación producida el 27 de Febrero del 2010.	13
1.10	Detalle parte del área afectada por el tsunami del 27 de febrero del 2010.	14
1.11	Muestra los nuevos sitios de extensión urbana más próxima a la ciudad..	15
2	Argumentos ecoeficientes del hábitat troglodita	17
2.1	Variación de temperatura en función de la profundidad.	18
2.2	Representación de la variación de la temperatura por estación	19
2.3	Pérdida y ganancia de radiación, onda corta y larga, en función de la latitud.....	20
2.4	Intercambio de radiación de la tierra y el sol	22
2.5	Distribución del calor latente	23
2.6	Representación del calor sensible	23
2.7	Diseño en elevación para verano e invierno	25
2.8	Diseño subterráneo aplicado para verano e invierno	26
2.9	Diseño subterráneo aplicado para verano e invierno	26
2.10	Diferencia al incorporar alas de muros, en el flujo de aire	29
2.11	Comportamiento del patrón de flujo de aire en función de las diferencias de presiones	30
2.12	Flujo del aire al interior según distribución de tabiques	31
2.13	Ventilación por incorporación de chimenea	32
2.14	Sistema de ventilación subterráneo usado en Irán	33
2.15	Sección del Naghb	34
2.16	Disminución de la temperatura por el uso del sistema subterráneo	35
2.17	Variación de la temperatura en función de la velocidad y la humedad	36

2.18 Variación de la humedad a través del Naghb	36
3 Metodología.....	38
3.1 Vista hacia la ciudad de Constitución desde el terreno para el caso de estudio	39
3.2 Apreciación de la pendiente del terreno a estudiar	39
3.3 Vista del terreno y construcciones adyacentes	40
3.4 Visión hacia suelo plano desde un punto inferior del terreno	40
3.5 Pendientes generadas en el terreno y alrededores	41
3.6 Muestra las zonas y su nivel de peligro ante remoción de las masas	42
4 Propuesta.....	38
4.1 Fachada principal de la vivienda	48
4.2 Ubicación chimeneas de ventilación	49
4.3 Vista lateral y cotas de nivel	49
4.4 Dimensiones en planta de la vivienda	50
4.5 Vista posterior	50
4.6 Diseño planimétrico del terreno.....	50
4.7 Perfil obtenido en base al diseño de la vivienda para el relleno de la envolvente	52
4.8 Clasificación para la ciudad de Constitución	43
4.9 Comparación entre NCh853 y caso de estudio, para valores de conductividad térmica	46
4.10 Temperatura media y rango interior teórico	48
4.11 Variaciones de las temperaturas medias máximas y mínimas mensuales	49
4.12 Climograma para el estándar de calidad del confort higrotérmico	50
4.13 Consumo energético mensual	52
4.14 Incidencia del consumo eléctrico en pesos	52
4.15 Comparación de costos entre la vivienda tradicional y troglodita	53
4.16 Comparación de costos en la vivienda tradicional y troglodita a temperaturas máx. y mín	54
4.17 Comparación de emisiones de CO2 equivalentes entre la vivienda superficial y troglodita	55
5 Conclusiones	38
5.1 Soluciones constructivas según las características de la zona	56
5.2 Desplazamiento de la población hacia zonas elevadas	57
5.3 Valores de conductividad térmica para el concepto troglodita	58
5.4 Comparación en pesos de las tres facturas eléctricas obtenidas.	59

Índice de tablas

3. Metodología	30
3.1 Aumento de la población en la comuna de Constitución en comparación a la región y nivel país	35
3.2 Número de viviendas tipo en la región del Maule y a nivel país	36
3.3 Número de viviendas en cuanto a la tipología de los hogares en la región del Maule y a nivel país	36
3.4 Factores a considerar para el diseño	38
4. Propuesta	39
4.1 Valores de corte y terraplén en función del diseño de la vivienda	42
4.2 Valores máximos para transmitancia y resistencia térmica de la envolvente	44
4.3 Máximo porcentaje de superficie vidriada según zona	44
4.4 Valores de incidencia de los elementos que componen la envolvente	45
4.5 Valores totales de conductividad térmica	45
4.6 Valores de R100 para la zona de estudio	46
4.7 Diferentes temperaturas para el periodo de un año en Constitución, Chile	47
4.8 Valores de temperatura para el ambiente interior	48
4.9 Valores de temperatura (°C) en el interior	49
4.10 Distribución de energía y dinero para diferentes artefactos de viviendas	51
5. Conclusiones	56
5.1 Valores de Conductividad térmica para elementos de la envolvente.	58

Índice de Formulas

2. Argumentos ecoeficientes del hábitat troglodita.....	13
Ecuación 2.1	21
4. Propuesta.....	39
Ecuación 4.1	44
Ecuación 4.2	45
Ecuación 4.3	45

Abstract

This thesis investigates and evaluates the incorporation of troglodyte housing as eco-efficient solution to the problem of the shortage of land that presents the city of Constitution in Chile.

Allowing heat exchange between the soil and the atmosphere through a process called "energy balance of the earth" and using the concept of "PAHS" to measure the ability, as a material, insulation over other artificial elements currently used, allowing the generation microclimates within the housing.

By analyzing the different case studies, the solutions obtained to the case study and generate a working procedure to be used in the design of housing depending on the natural features of the place are applied, considering socioeconomic and demographic factors.

The results cover three areas of evaluation: first Chilean regulations regarding OGUC Nch853.Of91 and Article 4.1.10. The second measurement method is applied depending on the average maximum and minimum monthly temperatures by applying a correction factor of 2°C per meter of depth, evaluating the hygrothermal comfort using the climograma.

The third method of measurement is based on the calculation and comparison of the average household electricity bill over the use of the cave dwelling, for the region, and depending on this value measure energy mix for calculating CO_2 emissions.

The results show a decrease in costs on electricity bills and CO_2 emissions, according to the design used on the geographical characteristics to 2 meters deep. Housing incorporating a focus of urban extension as compared to the shortage of land that presents a consolidated historic choice.

Resumen

La presente tesis investiga y evalúa la incorporación de la vivienda troglodita, como solución ecoeficiente, frente al problema de la escasez de suelo que presenta la ciudad de Constitución en Chile.

Permitiendo el intercambio de calor entre el suelo y la atmosfera mediante el proceso denominado “balance energético de la tierra” y utilizando el concepto de “PAHS” para medir la capacidad, como material, aislante por sobre otros elementos artificiales usados actualmente, permitiendo la generación de microclimas al interior de la vivienda.

Mediante el análisis de los diferentes casos de estudios, se aplican las soluciones obtenidas al caso de estudio para generar un procedimiento de trabajo a utilizar en el diseño de la vivienda en función de las características naturales del lugar, considerando factores demográficos y socioeconómicos.

Los resultados obtenidos abarcan tres áreas de evaluación; primero respecto a la normativa chilena Nch853.Of91 y OGUC, artículo 4.1.10. El segundo método de medición se aplica en función de las temperaturas medias, máximas y mínimas mensuales aplicando un factor de corrección de 2°C por metro de profundidad, evaluando el confort higrotérmico mediante el uso del climograma.

El tercer método de medición se basa en el cálculo y comparación de la factura eléctrica del hogar promedio frente al uso de la vivienda troglodita, para la región, y en función de este valor medir el mix energético para el cálculo de emisiones de CO_2 .

Los resultados muestran una disminución de costos en la factura eléctrica y emisiones de CO_2 , según el diseño empleado considerando las características geográficas a 2 metros de profundidad. Incorporando la vivienda en un foco de extensión urbano como opción frente a la escasez de suelo que presenta el casco histórico consolidado.

CAPÍTULO I PRESENTACIÓN

1. Presentación

1.1. Introducción al concepto de vivienda troglodita

La idea de refugio troglodita¹ se refiere a la utilización de terreno natural como la principal envolvente de una edificación, logrando generar un hábitat interior para refugio del ser humano. En un símil a una forma conocida se puede entender esta idea como una cueva en donde el terreno delimita el espacio interior. La figura 1.1 gráfica una vivienda bajo el concepto descrito.

Al analizar las partes del concepto mediante las diferentes aseveraciones que entrega la RAE², se observa como primer factor a considerar el de “*Vivienda*”: *Lugar cerrado y cubierto construido para ser habitado por personas.*

El segundo factor es referente a la palabra “*Troglodita*”: *Que habita en cavernas.* Esta forma más conservadora de entender la edificación subterránea, a través de la definición de sus partes entrega un primer enfoque que se entiende como la generación de un espacio habitable utilizando como material de construcción el terreno o suelo.

La relación entre hábitat y habitante es un vínculo que se traslada al territorio y las construcciones trogloditas que allí se emplazan, esto genera una respuesta específica ante las necesidades del ocupante en función del territorio. Adaptando la edificación al entorno (Piedacuza, B. 2009).



Figura 1.1 vivienda construida bajo el concepto troglodita

¹ Para futuras referencias dentro del texto se usará como sinónimo del concepto troglodita la idea de edificación subterránea.

² RAE: Real Academia Española.

. Fuente: <http://vivirbajotierra.blogspot.com/2009/04/casas-poco-convencionales-vivir-en-una.html>

La idea de un refugio bajo tierra no es propiamente tal un túnel, también un cubo estructural simple de hormigón u otro material y sobre el cual se cubre con el suelo para obtener los beneficios de aislación también corresponde a este tipo de viviendas (Well, M. s.a.)

La idea de generar un espacio subterráneo nace principalmente en zonas de climas extremos o fuertes variaciones entre las máximas y mínimas temperaturas. Utilizando el suelo como material de construcción, generando una solución rápida y eficiente de aislación permitiendo habitar lugares que de otra forma sería costoso y tardío.

La característica termorreguladora que entrega el suelo se basa en la capacidad de administrar la radiación solar según corresponda, es decir; absorber radiación en los seis meses más cálidos del año de forma más concentrada para luego transmitir en los 6 meses siguientes de menor temperatura. Generando microclimas estables habitables durante todo el año sin necesidad de utilizar medios mecánicos para obtener un confort interior (N. Hait, J. 2005).

La capacidad de adaptación que tiene la vivienda troglodita frente a las variadas características topográficas que se puedan presentar permite que su incorporación pueda ser llevada a diferentes zonas geográficas, entregando un uso simultáneo de habitabilidad y ecológico. La figura 1.2 representa la capacidad de adaptación de la edificación subterránea frente a la topografía.



Figura 1.2 adaptación de la edificación subterránea.

Fuente: <http://arquigeek.blogspot.com/2010/06/arquitectura-bioclimatica.html>

1.2 Clasificación de la vivienda troglodita

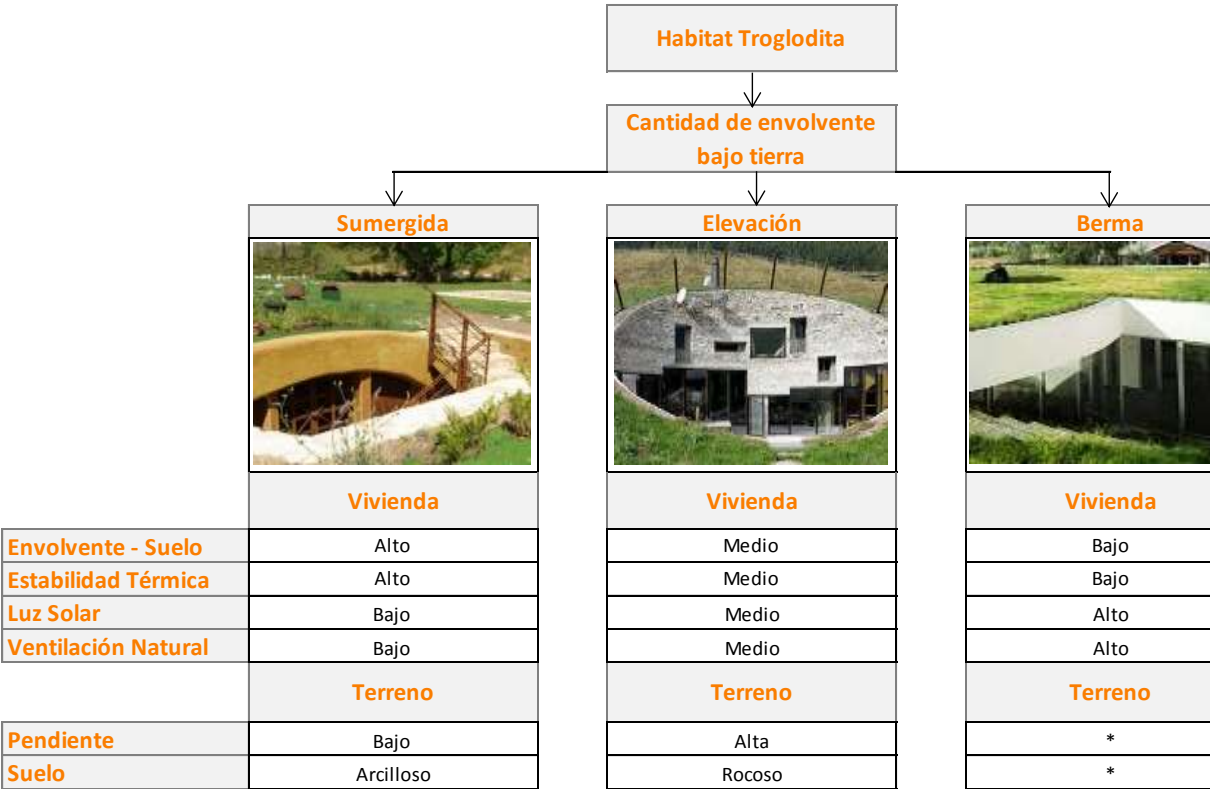
Con la existencia de diferentes realidades topográficas se originan innumerables diseños según las características de la zona donde se ubica la edificación, como forma de obtener los parámetros estándar dentro de este tipo de construcción se detallan dos tipos de clasificación que entregan información de diferentes aspectos de este método constructivo.

La generación de habitas trogloditas se puede comprender desde el punto de vista de la clasificación que se le otorga, basándose en dos principales puntos de referencias; el primero hace relación al porcentaje de la envolvente que se encuentra cubierta por suelo.

La cantidad de porcentaje de la vivienda bajo el terreno genera mayor o menor beneficio, respectivamente, de estabilidad térmica durante un año. También dependerá estrictamente de la topografía donde se emplace la estructura, logrando ser; de pendiente mínima o máxima y suelo con roca o sin él (El-Fiki, S. 2010).

Cumpléndose el grado de la envolvente cubierta por el suelo se obtienen características que diferencian un modelo de otro, abarcando tres grupos que

entregan parámetros comunes para la vivienda y el terreno. La figura 1.3 esquematiza las variables mencionadas.



entre la población (Rudofsky, B. 2002). La figura 1.4 detalla la clasificación propuesta.

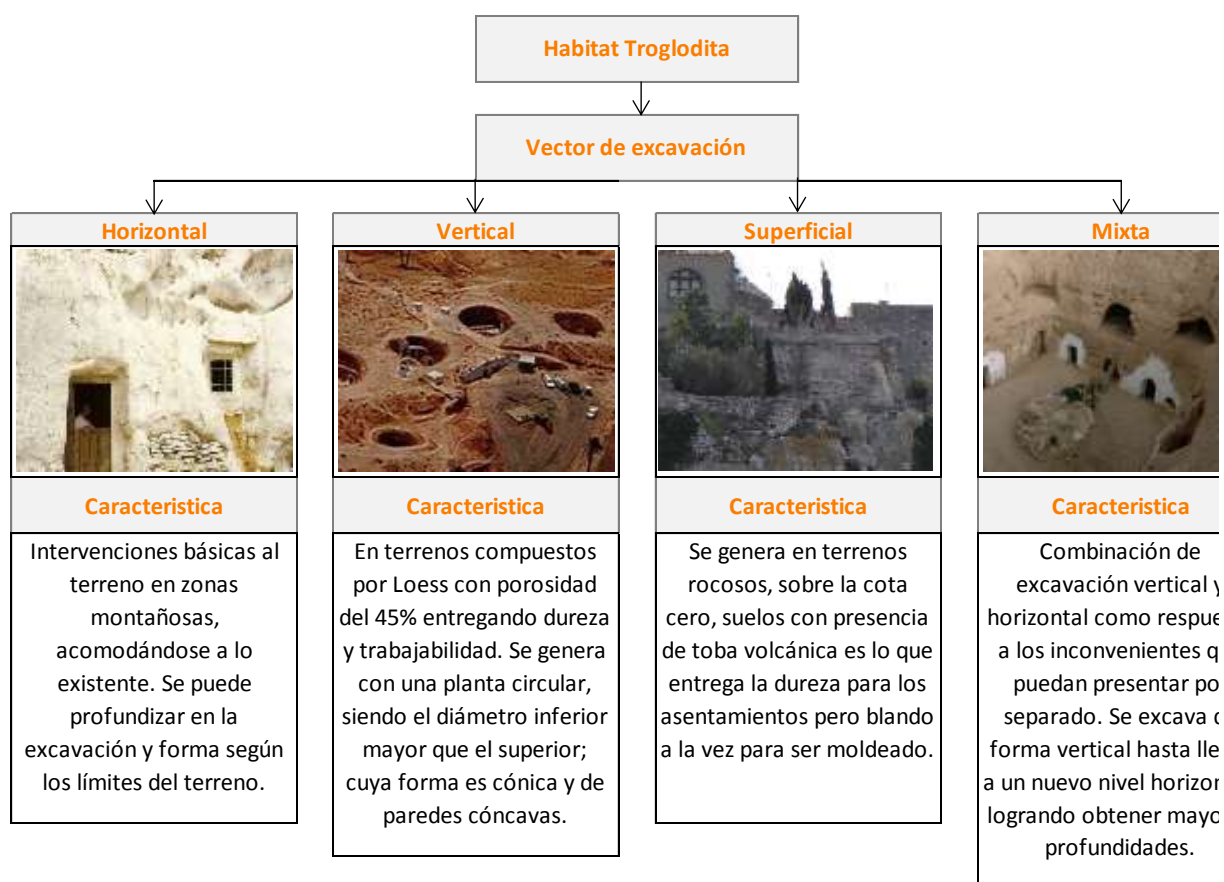


Figura 1.4 esquema de clasificación según tesis de Rudofsky, B.
Fuente: Propia

1.3 Beneficios ecoeficientes de la edificación subterránea

Este tipo de construcción genera beneficios basados en dos áreas principalmente; suelo y térmico. El primero de ellos hace referencia a la forma de construir bajo la superficie permitiendo un uso secundario del terreno según las características de estabilidad e impermeabilidad que se presenten y la materialidad de la vivienda.

Los principales usos que se observan son de tránsito, en donde se establece un espacio común donde se pueden desenvolver las actividades diarias de un grupo de personas generando una intervención superficial de menor intensidad sobre el entorno. Y otro ecológico, el cual se incorpora un espacio que sea acorde al

ambiente donde se emplaza y mantenga la armonía del área permitiendo el desarrollo natural que allí se genere.

El factor térmico tiene como dos enfoques basado en la misma característica intrínseca del suelo como material termo regulador. El primero de ellos referente a la capacidad de estabilizar la temperatura y mantenerla constante durante todo el año hacía el interior de la vivienda. Mientras mayor sea la profundidad de construcción más estable será la temperatura, independiente del tipo de suelo que se utilice.

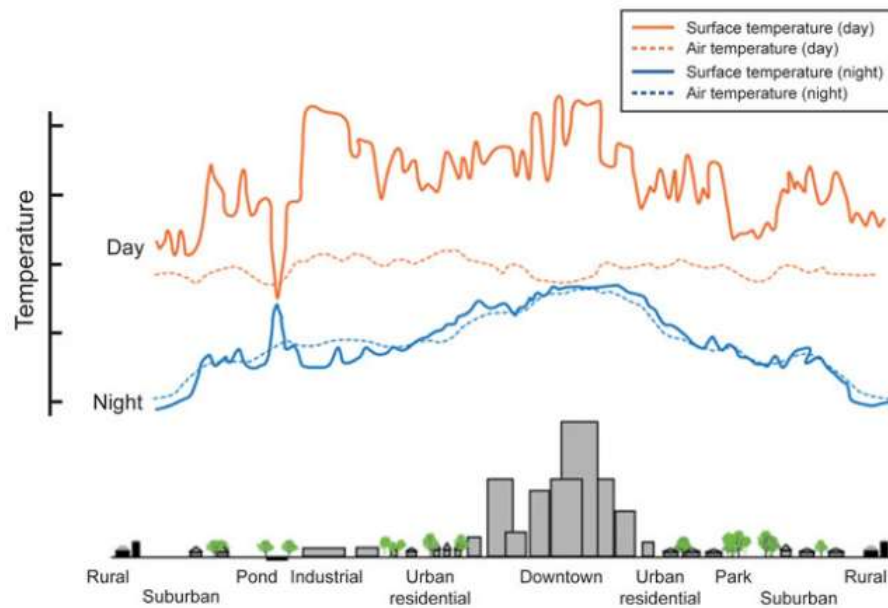
El segundo enfoque hace referencia a la capacidad de absorber radiación solar para administrarla de la misma manera que lo hace hacía el interior de la vivienda. Pero su efecto inmediato tiene relación directa con el comportamiento climático de la tierra y más aún en la capacidad de sustentar vida mediante el calentamiento del planeta (Izunza, J. s.a.)

Allí radica la importancia del uso del suelo como material predominante de la envolvente de una edificación, generando un espacio habitable que no interrumpe la superficie natural de terreno, generándose el ciclo de intercambio de calor que regula el calentamiento de la superficie de la tierra. Una muestra de la importancia de no obstaculizar el intercambio de calor radica en el efecto “isla de calor”⁵ producido por la superposición de materiales artificiales como el hormigón en la superficie, obstaculizando el ciclo, lo que genera un aumento en las temperaturas y una variación en los periodos de transferencia de calor para ciudades densificadas.

Un incremento en la temperatura urbana tiene un efecto directo en el consumo de energía y en las condiciones de confort térmico de los espacios residenciales, en invierno hay efectos positivos al reducir la carga de calor pero en verano se incrementa la demanda de refrigeración y se reduce la capacidad de enfriamiento

⁵ Aumento de temperatura que se produce al urbanizar o edificar una zona que no tiene urbanización previa, estos cambios alteran las características de la superficie haciéndola más proclive a ganar calor (Catalogo Verde, IDIEM).

pasivo en la noche (Correa, E. 2003). La figura 1.5 muestra una representación del aumento de temperatura en las ciudades.



Fuente: <http://southwestclimatechange.org/impacts/people/urban-heat-island>
 Figura 1.5 muestra el desempeño de la temperatura producido por el efecto isla de calor.

La característica intrínseca que entrega el suelo como material de aislación térmica, permite regular las temperaturas en zonas densificadas; disminuyendo el uso de elementos mecánicos para el control térmico decayendo el uso de energía eléctrica, y por ende, el combustible que genera (carbón o petróleo) los gases de efecto invernadero.

Además se crean espacios de esparcimiento urbano; siendo este un uso secundario, además del desempeño habitacional que se desea desarrollar. Los efectos indirectos tienen relación con la salud de las personas que habitan el entorno donde se emplaza la vivienda troglodita, al crear un hábitat agradable al ser humano y generar espacios con mejores condiciones en la calidad del aire.

Como el caso de la ciudad minera de Coober Pedy en Australia, con una población de 1916 habitantes viviendo bajo tierra. Luego de que los túneles usado

para la explotación del Ópalo fueran reacondicionados a viviendas como solución frente a las temperaturas extremas que se producen, variando de 48°C a -2°C. La figura 1.6 muestra un espacio bajo suelo reacondicionado.



Figura 1.6 muestra el interior de una vivienda en la ciudad de Coober Pedy.
Fuente: http://www.averlo.com/Turismo/Oceania_Pacifico/83.htm

El beneficio en torno al uso de materiales artificiales para levantar una edificación se obtiene al reemplazarlos por un elemento inerte de fácil recolección y abundante en la zona de construcción. Siendo posible generar las viviendas bajo el concepto troglodita en función de las características del entorno, creando espacios en armonía y disminuyendo la huella de carbono de la construcción por fabricación de material y transporte del mismo.

El caso de las casas turf en Islandia nacen por la escasez de materiales debido a las distancias entre asentamientos, obteniendo como solución estructuras de maderas revestidas con suelo y/o rocas de la zona. En cuanto a la humedad generada se usa como material impermeabilizante una capa vegetal alrededor de la envolvente. La figura 1.7 entrega la representación exterior e interior de la edificación.



Figura 1.7 Una vivienda Turf en Islandia.

Fuente: <http://es.mongabay.com/travel/files/p5790p.html>

1.4 Escasez de suelo en la ciudad de Constitución, región del Maule de Chile.

Dada las características geográficas de Constitución, la ciudad se ha posicionado sobre suelo con baja pendiente por su bajo costo de construcción, indiferente de las condiciones de riesgo naturales que presenta su actual ubicación. La cual es adyacente al río Maule y al Océano Pacífico.

A través de los años esto no ha sido mayor problema para la expansión del área urbana, pero el aumento de la población generó que la ciudad ocupara por completo los terrenos planos, por la necesidad de construcciones nuevas, consolidando su área urbana histórica en una zona de riesgo ha inundaciones.

Actualmente parte de la ciudad se ha concretado en un área de peligro ante inundaciones y tsunamis, ya sea por la crecida del río Maule o sismos que puedan afectar al territorio. Además de ser factible la extensión hacia zonas elevadas se ve afectada al problema de suelos con remoción de masas debido a las características de la intrusión de la cordillera de la Costa hasta el litoral. Esto genera una problemática desde el punto de vista económico y constructivo. La figura 1.8 muestra la expansión de la ciudad a zonas elevadas.



Figura 1.8 Desarrollo de la ciudad forzado debido a las características geográficas.
Fuente: Elaboración Propia

Un ejemplo de la vulnerabilidad de la ciudad ante riesgos naturales a consecuencia de su ubicación es lo ocurrido el 27 de Febrero del 2010. Con un área de 7.120 [Km]^2 para la ciudad de Constitución, el espacio afectado por el tsunami fue de 2.431 [Km]^2 correspondiente a una población de 8.236 personas y 2.989 viviendas. Se inundaron 79 manzanas que componen el casco urbano consolidado. La figura 1.9 destaca el espacio afectado.



Figura 1.9 área marcada por la inundación producida el 27 de Febrero del 2010
Fuente: Observatorio Urbano

La composición económica de la población, en los grandes grupos, muestra una marcada tendencia en función del área urbana y rural. La primera se dedica principalmente al sector terciario (servicios y comercio), mientras que la segunda tiene predominancia las labores extractivas (Agrícolas y forestales).

La zona afectada por el tsunami está concentrada dentro de la ciudad, afectando a la población en actividades de servicios y comercios (Silva, A. y Espina, R.

2010). La figura 1.10 muestra parte del área afectada cercana al borde del río Maule.



Figura 1.10 detalla parte del área afectada por el tsunami del 27 de febrero del 2010.

Fuente: Elaboración Propia

Siendo una comuna con un ingreso promedio bajo, es necesario que la vivienda cumpla funciones de adaptabilidad y accesible para la población. Actualmente los terrenos en altura no son edificables debido a su alto costo de construcción para el nivel socioeconómico actual de la ciudad, produciendo hacinamiento de la población en los terrenos con pendientes moderadas más próximas al área habitacional ya consolidada. En la figura 1.11 se observa la zona de extensión.

La vivienda troglodita considera un uso de forma subterránea capaz de adaptarse a los diferentes terrenos y no produce una modificación importante a la geografía natural superficial. Dando lugar al esparcimiento o mantener las áreas con vegetación propia de la zona.

Como su principal característica destaca el uso del suelo como material predominante en la envolvente de la estructura, esto permite generar ambientes con temperaturas constantes y controladas durante todo el año. La aplicación de este método constructivo genera beneficios al entorno donde se emplaza y a sus habitantes, mejorando el ciclo del flujo de calor del área, permitiendo la existencia del espacio natural con una mínima intervención.

Su incorporación como una solución ecoeficiente⁶ para la ocupación del área de extensión urbana para la ciudad de Constitución permite la habitabilidad en zonas elevadas con accidentes geográficos a bajo costo, por transporte y recopilación del material, en comparación a una vivienda de diseño tradicional.



Figura 1.11 muestra los nuevos sitios de extensión urbana más próxima a la ciudad.

Fuente: Elaboración Propia

1.6 Objetivos de investigación

Proponer el uso de la vivienda troglodita, como solución ecoeficiente, al problema de escasez de suelo en Constitución, Chile.

- i. Caracterizar las variables de diseño de la vivienda troglodita.
- ii. Diseñar una vivienda troglodita en función de las características naturales y socioeconómicas de la ciudad de Constitución.
- iii. Validar la incorporación del concepto troglodita como una opción ecoeficiente, frente a la vivienda tipo de la ciudad de Constitución.

⁶ Un diseño integral de tecnología para reducir la intensidad de uso de materiales y energía durante la producción, además de impulsar la reutilización de insumos a través de procesos de reconversión tecnológica y de reciclaje. (Valderrama, L. s.a.)

CAPÍTULO II
ARGUMENTOS ECOEFICIENTES DEL HÁBITAT TROGLODITA

2. Argumentos ecoeficientes del hábitat troglodita

2.1. Almacenamiento de calor anual pasivo

Este concepto hace referencia a la capacidad que tiene el suelo, como material, de absorber calor durante la estación de verano (o los meses continuos con mayor cantidad de temperaturas) y almacenarlo por periodos de seis meses, hasta que por diferencias de temperatura se logre alcanzar el equilibrio térmico.

Bajo el concepto de la ley cero de la termodinámica (ley de equilibrio), la cual establece que si mediante un objeto C (suelo), otros dos, A (ambiente exterior) y B (ambiente interior) se encuentran en equilibrio térmico separadamente, entonces A y B están en equilibrio térmico entre sí. (Raymond, A. 2005)

Aplicando esto como elemento principal a caracterizar de la envolvente de una estructura de vivienda subterránea, el suelo funciona como material mediador entre dos ambientes de diferente temperatura, regulándolas mediante la captación y almacenamiento de calor.

Construir en el subsuelo permite mantener temperaturas constantes a una cierta profundidad durante todo el año sin importar la estación, ya que en invierno logra aumentar la temperatura y durante el verano disminuye, alcanzando el punto de equilibrio a 6 metros bajo tierra. A este fenómeno se le conoce como “Almacenamiento de calor anual pasivo” (Hait, J. 2005). La Figura 2.1 muestra un gráfico de la variación de la temperatura hasta la profundidad de estabilidad.

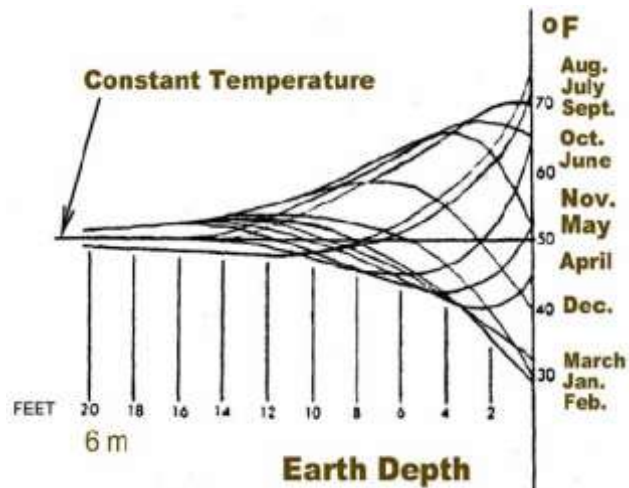


Figura 2.1 variación de temperatura en función de la profundidad
Fuente: PAHS, John Hait, 2005.

La forma en la que el suelo logra estabilizar la temperatura a profundidad, se basa en los siguientes principios (Hait, J. 2005):

- i. Los flujos de calor por conducción van del lugar con mayor a menor temperatura y solo retorna cuando el origen disminuye su temperatura bajo la de almacenamiento del suelo.
- ii. El suelo almacena mayor calor solar durante la época de verano.
- iii. El suelo es el mejor material para almacenamiento de calor en periodos largos que exceden los 6 meses.
- iv. La temperatura constante a 6 metros de profundidad es un reflejo de la temperatura promedio anual del aire.
- v. La transferencia de calor a 6 metros de profundidad demora 6 meses.

La cantidad de envolvente de la vivienda constituida por suelo define los valores de eficiencia energética, esto quiere decir que a mayor superficie de contacto de la edificación con el suelo mayor es el aislamiento al interior. Independiente de la

zona, diseño y tipo de suelo a usar está característica es común para todos. La figura 2.2 muestra un esquema visual de como varía la temperatura en función de la profundidad según los principales comportamientos estacionales del año.

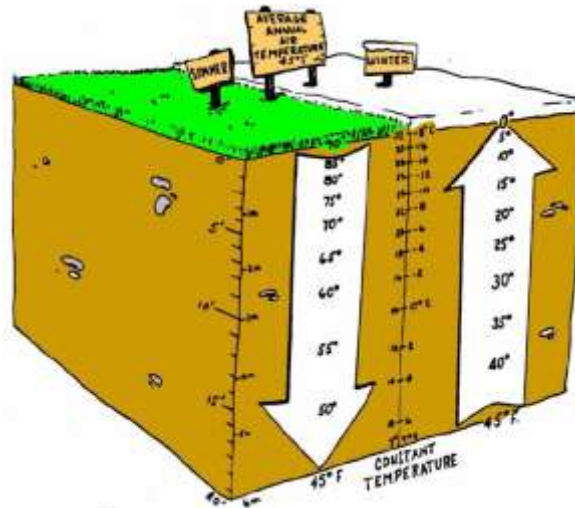


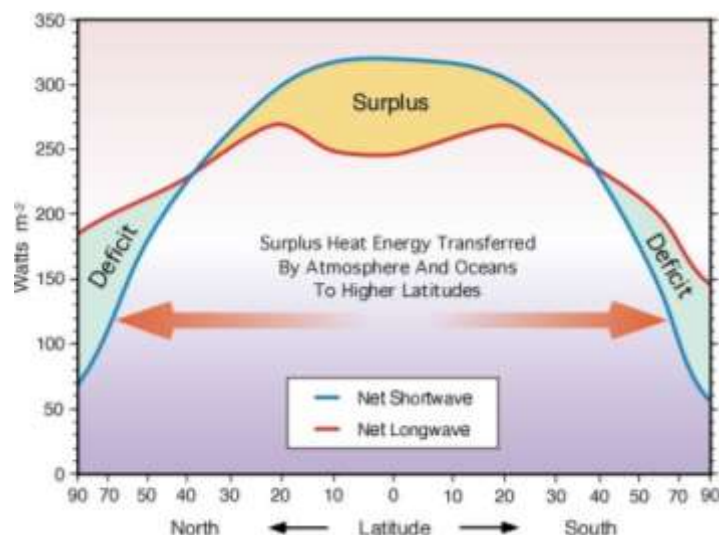
Figura 2.2 representación de la variación de la temperatura por estación.
Fuente: PAHS, John Hait, 2005

El almacenamiento de calor anual pasivo se plantea como la capacidad que tiene el suelo de almacenar calor durante largos periodos de tiempo y que permite su transferencia según sea necesaria. Esta característica convierte al suelo en el material idóneo para aislar y al mismo tiempo transferir calor. (Jideofor Anselm, A. s.a.)

Esta teoría se enmarca dentro de lo que se llama el “Balance energético de la tierra”, el cual establece la relación entre la ganancia de radiación solar y pérdida de esta, en un proceso controlado y cíclico. Cuya función principal es regular la temperatura de la tierra. (Trenberth, K. s.a.)

La tierra recibe la radiación electromagnética solar cuyo valor de forma directa es 1368 W/m^2 (constante solar) pero debido a que la cantidad de energía no es igual para todo el planeta, siendo en los polos menor debido al ángulo de incidencia y mayor hacía el centro, es decir que la radiación varía con la latitud, además de que solo la mitad del globo recibe radiación, por lo que se obtiene un

valor promedio para los cálculos de 342 W/m^2 (Izunza, J. 2003). La figura 2.3 muestra la variación de radiación solar en función de la latitud.



Fuente: <http://www.physicalgeography.net/fundamentals/7j.html>

Figura 2.3 pérdida y ganancia de radiación, onda corta y larga, en función de la latitud.

De un 100% (342 W/m^2) de la radiación solar de onda corta, que es la que llega del espacio a la superficie, un 49% (168 W/m^2) es absorbida o ganada por el suelo, un 20% (67 W/m^2) queda en la atmósfera y un 31% (107 W/m^2) es reflejado al espacio nuevamente (albedo de la tierra), esta energía no interviene en el calentamiento de la atmósfera, solo se pierde. (Segura, B. 2003)

Debido a que la temperatura del sol es mucho mayor que la de la tierra, la energía llega como radiación de onda corta; o sea el número de ondas por segundo es mayor, esto quiere decir que hay mayor energía. La tierra al ser un cuerpo oscuro es buen receptor y emisor de radiación, este es un principio fundamental para entender el calentamiento del planeta. (Izunza, J. 2003)

El sol con una temperatura en la superficie de 6.000 K ($5.726,85^\circ\text{C}$) genera una radiación de onda corta que se establece en una frecuencia entre $0,1$ a $2,0 \mu\text{m}$ (con un máximo de intensidad en $0,5 \mu\text{m}$) y emite $1,6 \times 10^5$ más energía que la tierra que con una temperatura media de 290 K (17°C), genera una radiación de

onda larga cuya frecuencia fluctúa entre 1 a 30 μm (con un máximo en la intensidad en 10 μm) (Izunza, J. 2003).

El segundo ciclo a considerar se produce con la emisión de calor que genera la tierra con el 69% ($235 W/m^2$) absorbido. Debido a la que la radiación que llega del sol tiene mayor energía, la tierra emana mediante una longitud de onda larga, o sea el número de ondas por segundo es menor (Segura, B. 2003). Figura 2.4 representa el ciclo completo de radiación.

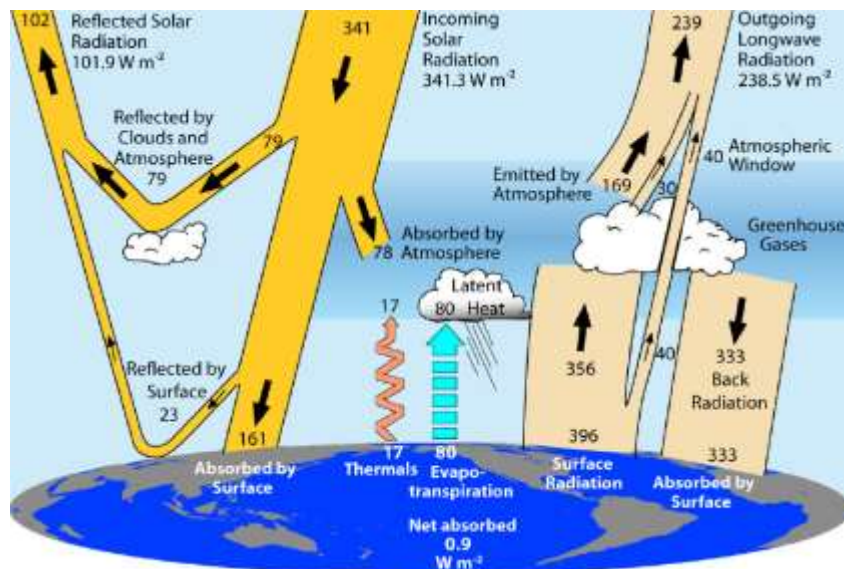


Figura 2.4 intercambio de radiación de la tierra y el sol.
Fuente: American Meteorological Society, Kevin E. Trenberth.

En esta etapa la radiación se ve afectada por la cantidad de nubes, altura, humedad, calor latente y sensible, el ozono y gases presentes en la atmosfera. El balance final entre los dos sistemas debe arrojar la misma cantidad de radiación entrante y saliente en $235 W/m^2$, para mantener el equilibrio, o sea que el planeta no aumente o disminuya su temperatura (Izunza, J. 2003).

El calor latente es la cantidad de energía para evaporizar el agua, esto está directamente relacionado con la humedad, la cantidad de vapor de agua presente en la atmosfera y afecta directamente la temperatura de la tierra al absorber de mejor manera, hasta 5 veces más que cualquier otro gas, la radiación emitida por

la tierra. Este calor cambia a sensible cuando el vapor pasa a estado líquido o sólido. La figura 2.5 muestra la distribución del calor latente en el planeta.

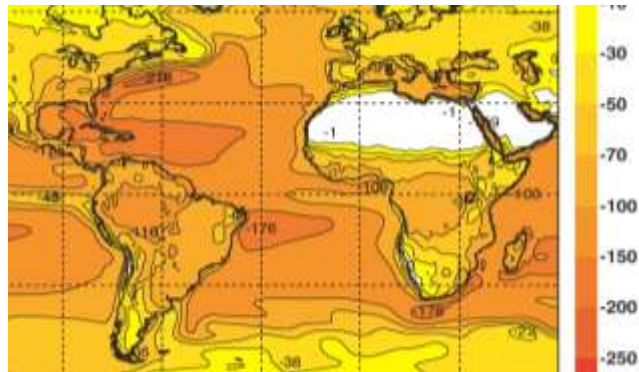


Figura 2.5 distribución del calor latente

Fuente: http://oceanworld.tamu.edu/resources/ocng_textbook/chapter05/chapter05_06.htm

El calor sensible hace referencia al contenido de calor del aire, al tener mayor energía las moléculas se mueven más rápido y colisionan más entre sí, aumenta la transferencia de energía cinética. En un contexto global las transferencias de flujos de aires fríos y calientes entre las capas bajas de la atmosfera y la superficie mantienen en movimiento las masas de aire a diferentes temperaturas, regulando los diferentes climas. La figura 2.6 muestra la distribución del calor sensible.

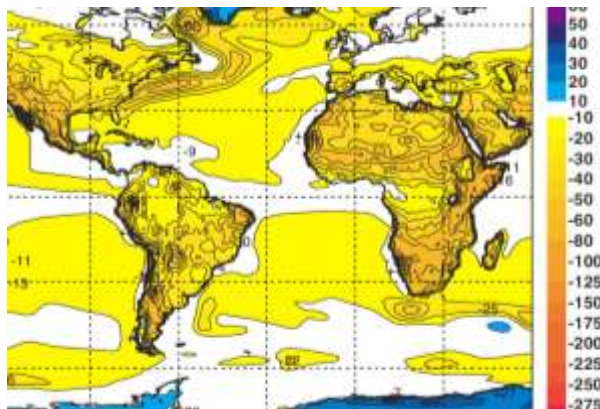


Figura 2.6 representación del calor sensible.

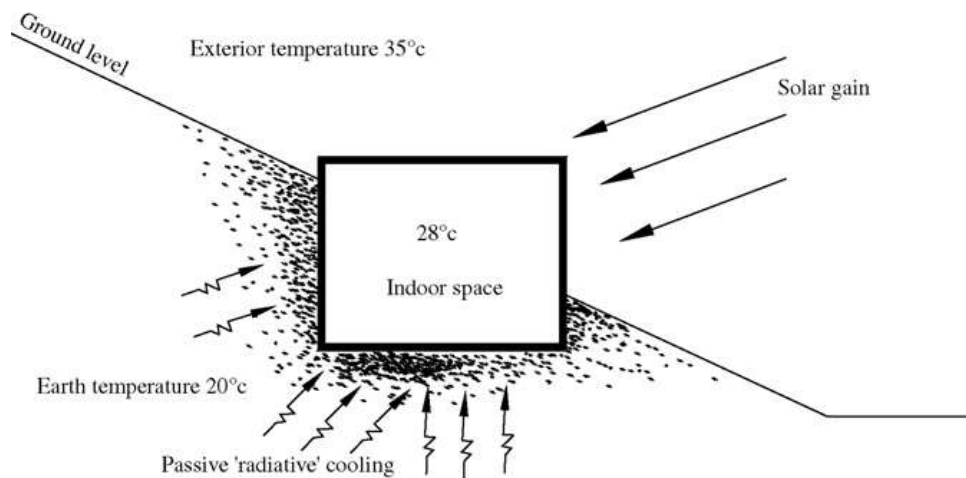
Fuente: <http://www.tiempo.com/ram/320/por-que-los-modelos-de-prediccion-del-tiempo-se-equivocan-i/>

Cabe destacar que el calentamiento de la tierra no se produce por la radiación solar que llega a ella, es más bien la radiación que sale de la superficie terrestre.

Por ello es tan importante no interrumpir el flujo de intercambio de calor obstaculizando la función del suelo mediante la urbanización del entorno.

Usando como marco de referencia la teoría del PAHS se analizaron dos situaciones virtuales de diseño de edificación subterránea; una de tipo sumergida y otra denominada de elevación. Para verano con 35°C y en invierno 0°C.

Para la edificación sumergida con un 80% de la envolvente en contacto con el suelo y una temperatura en verano de 20°C e invierno 10°C para el mismo elemento. En el caso de la estructura de elevación con un 50% de la envolvente en contacto con el suelo y una temperatura en verano de 20°C e invierno de 10°C para el mismo elemento. La figura 2.7 muestra los diseños de elevación utilizados.



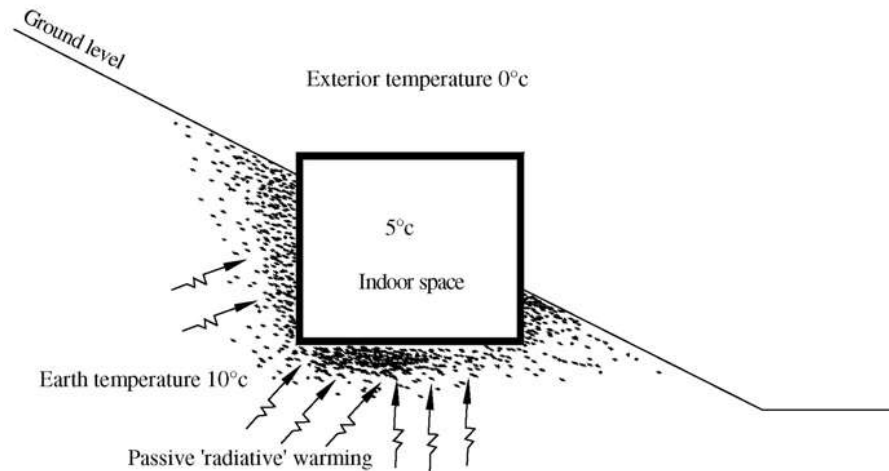
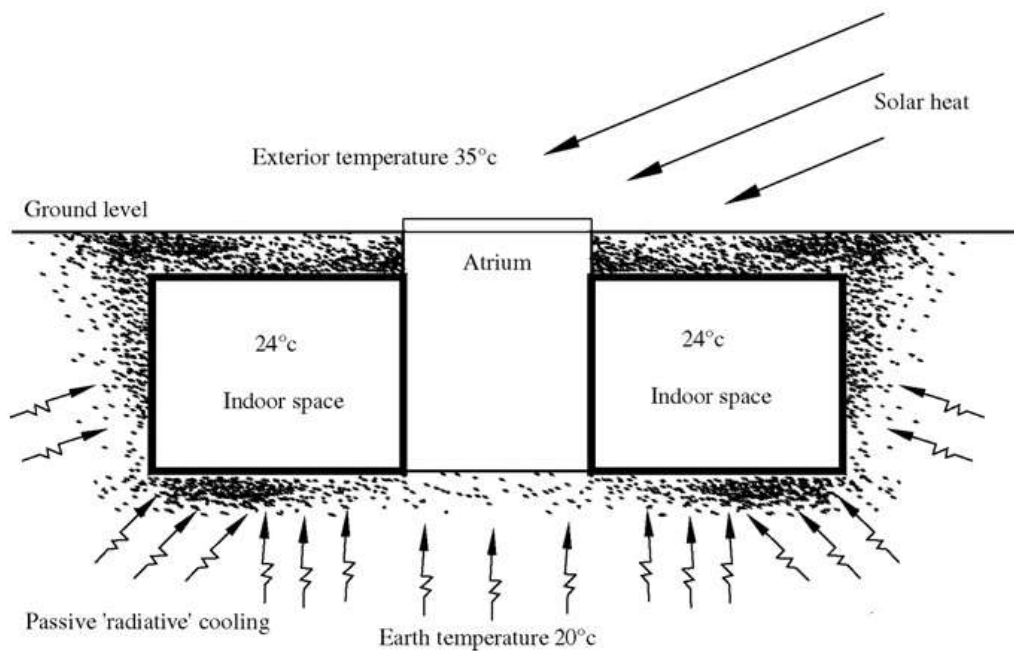


Figura 2.7 diseño en elevación para verano e invierno.

Fuente: Passive annual heat storage principles in earth sheltered housing, a supplementary energy saving system in residential housing.

Se obtuvo mayor diferencia de temperatura entre el ambiente exterior y el interior a medida que se aumenta el porcentaje de la envolvente en contacto con el suelo. En el primer caso la diferencia de temperatura fue de 11°C. La figura 2.8 muestra el diseño subterráneo o sumergido.



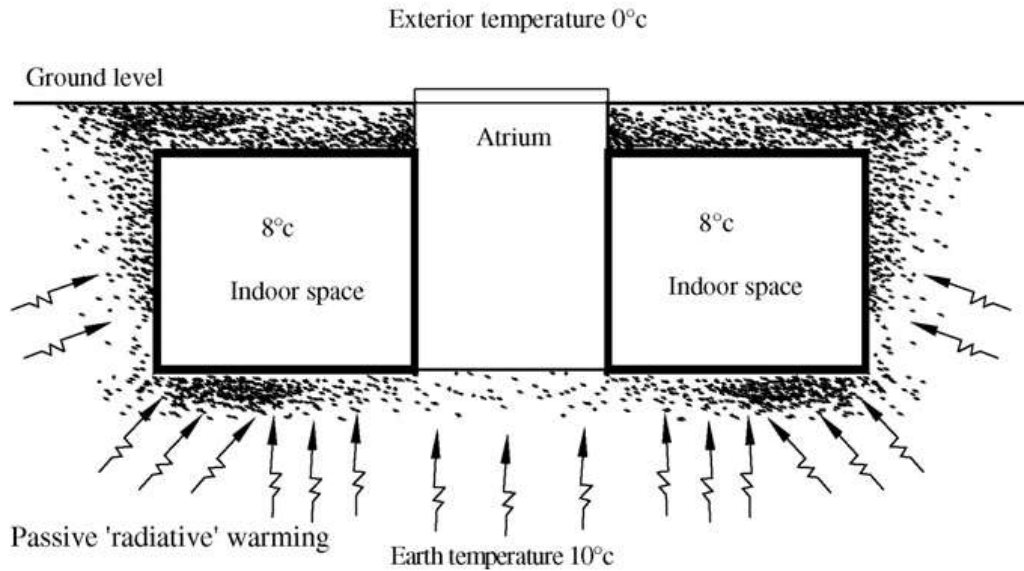


Figura 2.8 diseño subterráneo aplicado para verano e invierno.

Fuente: Passive annual heat storage principles in earth sheltered housing, a supplementary energy saving system in residential housing.

Los diseños son pensados como una estructura de hormigón armado simple a una profundidad de 5,1 metros bajo la superficie. Los efectos del PAHS se vieron influenciados por la orientación de la estructura y la cantidad de superficie en contacto con el suelo fue el que logre un mejor confort interior basándose en condiciones de refrigeración y calefacción pasiva.

Para determinar la temperatura del suelo a una cierta profundidad se utilizó el método desarrollado por K. Labs y obtener el patrón anual de temperatura en función de la profundidad y el tiempo. (Akubue Jideofor, A. 2008)

$$T_{(x,y)} = T_m - A_s e^{-x \sqrt{\frac{\pi}{365\alpha}}} \cos \left\{ \frac{2\pi}{365} \left[t - t_0 - \left(\frac{x}{2} \right) \left(\sqrt{\frac{365}{\pi\alpha}} \right) \right] \right\}, \text{ Ecuación 2.1}$$

Donde;

- Coseno expresado en radianes
- t_m es la temperatura media anual del suelo

- c. x es la profundidad del suelo
- d. t es el tiempo del año en días, donde el 1 de Enero =1
- e. t_0 es el número del día con la temperatura mínima en la superficie
- f. α es la difusividad térmica del suelo en $m^2/día$

2.2. Ventilación Pasiva

Incorporar técnicas de construcción pasiva, en el diseño permite obtener un mayor rendimiento en cuanto a luminosidad, ventilación y temperatura de forma natural, además si se agregan energías renovables para satisfacer los requerimientos energéticos se logra obtener una disminución en la cantidad de CO₂ (gases de efecto invernadero) emitidas como consecuencia de sistemas para refrigeración y calefacción al interior de la vivienda.

Para generar una ventilación natural en el edificio debe existir diferencias de presión entre el exterior y el interior. La magnitud entre las diferencias y la resistencia de la abertura determinan la tasa de flujo de aire al interior. Se debe tener presente la influencia de factores como la orientación del edificio, cuyas principales aberturas deben considerar la dirección del viento predominante para maximizar la presión de aire entrante (El-Fiki, S. 2010)

Para el análisis de la configuración de la capa externa se tiene que tener presente las fenestraciones, cuyo tamaño, forma, tipo y ubicación determinan la velocidad y el patrón de flujo de aire. Al colocar ventanas, en proporción de 25%, 50% y 75% con respecto a la fachada, estas deben situarse según la orientación del edificio en función de la dirección del viento predominante en la zona (El-Fiki, S. 2010). La figura 2.9 detalla diferentes combinaciones de aberturas.

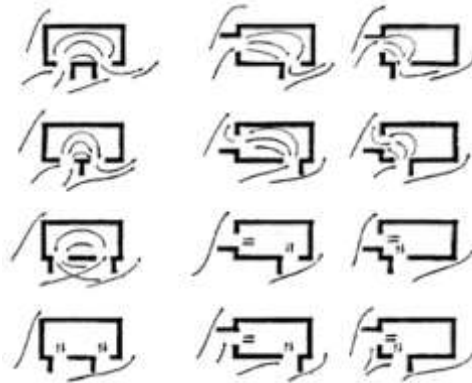


Figura 2.9 muestra patrones de flujo de aire con diferentes combinaciones de aberturas.
Fuente: Towards a deductive model for studying air movement in underground buildings, with reference to Egypt, 2010.

Colocar alas de muro permite aumentar la velocidad al aire antes de entrar a la estructura y aumenta la longitud del vector permitiendo la llegada al muro opuesto, en función del ángulo de incidencia de la viento sobre la fachada. Está incorporación permite aumentar el área de la fachada de barlovento, aumentando las presiones positivas generando mayores velocidades al interior. La figura 2.10 muestra lo descrito.

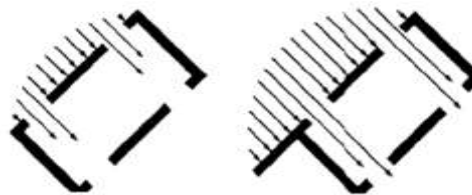


Figura 2.10 diferencia al incorporar alas de muros, en el flujo de aire.
Fuente: Towards a deductive model for studying air movement in underground buildings, with reference to Egypt, 2010.

Un techo plano con baja pendiente está sometido a presiones negativas, contrario a uno con inclinación mayor sometido a presiones positivas, la compresión del comportamiento del aire en función de las variaciones de las presiones se usa para mejorar el flujo de aire dentro de los espacios interiores.

Es decir la aberturas deben fijarse en las zonas de presiones positivas (por donde ingresa el flujo de aire) y su contraparte negativa (por donde sale el flujo de aire)

para generar lo que se denomina ventilación cruzada (El-Fiki, S. 2010). La figura 2.11 representa lo descrito.

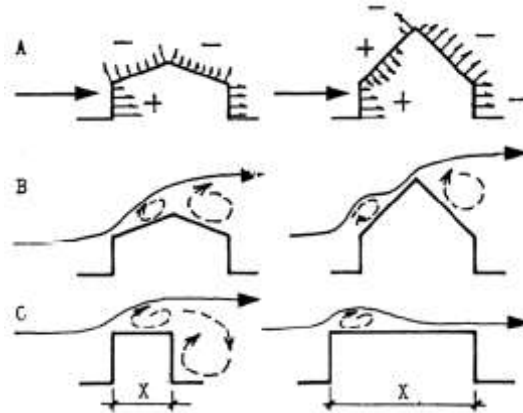


Figura 2.11 comportamiento del patrón de flujo de aire en función de las diferencias de presiones.
Fuente: Towards a deductive model for studying air movement in underground buildings, with reference to Egypt, 2010.

Al interior de la estructura los tabiques y paredes disminuyen las velocidades y cambian los patrones del flujo de aire, esto se base en el principio de que el aire siempre sigue el camino más corto entre la entrada y la salida. Las particiones interiores respecto a la trayectoria del aire deben ser aplicadas para mantener altas velocidades al interior. La figura 2.12 muestra los diferentes comportamientos del flujo de aire al interior según variadas distribuciones de tabiques o muros.

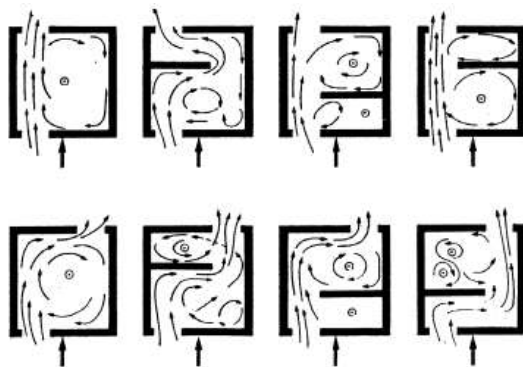


Figura 2.12 flujo del aire al interior según distribución de tabiques.
Fuente: Towards a deductive model for studying air movement in underground buildings, with reference to Egypt, 2010.

La incorporación de colectores de aire o chimeneas en la parte superior de la techumbre funcionan como sistemas de ventilación pasiva y su sección transversal debe estar entre un 5% y 25% en función de la planta del edificio.

El efecto se genera mediante la incorporación de aire caliente durante el día a través de la chimenea de ventilación, cuyo material metálico ha sido enfriado durante la noche, al pasar el aire caliente por el artefacto este se enfría y disminuye la temperatura al interior. Caso contrario durante la noche el artefacto termina caliente por el calor del día y al ingresar el aire frío eleva su temperatura y se produce el proceso de calefacción al interior. La figura 2.13 describe el funcionamiento de la chimenea de ventilación.

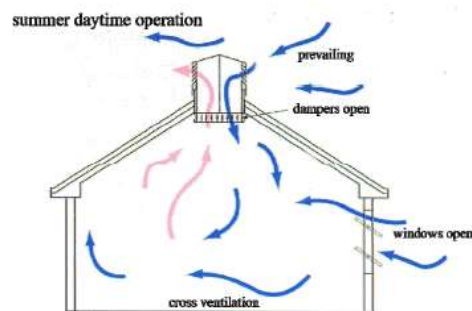


Figura 2.13 ventilación por incorporación de chimenea

. Fuente: Towards a deductive model for studying air movement in underground buildings, with reference to Egypt, 2010.

El sistema de ventilación utilizado en Ban, Irán mediante un canal subterráneo se compone de dos partes; el Baud-Geers (torre de viento) cuya función es capturar el viento exterior y llevarlo al interior del edificio para enfriar el ambiente a través de un ducto bajo tierra llamado Naghb. Este se construye bajo los jardines de las viviendas entre 7 a 5 metros de profundidad. (Jafiran, J. s.a.)

El suelo por si solo ya genera un efecto de enfriamiento sobre el canal Naghb, pero al situarlo en los jardines se potencia debido al riego (1 o 2 veces por semana) que se genera en la zona y cuya humedad alcanza la posición detallada. La figura 2.14 muestra el funcionamiento del sistema completo y sus diferentes partes. (Jafiran, J. s.a.)

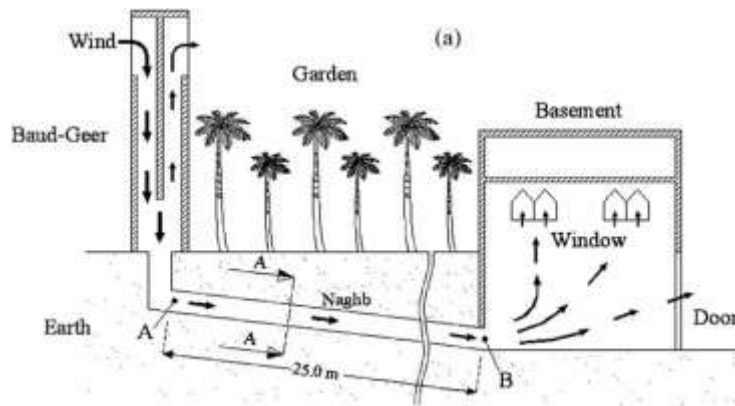


Figura 2.14 sistema de ventilación subterráneo usado en Irán.

Fuente: Performance analysis of a passive cooling system using underground channel (Naghb), S.M. Jafarian.

El Naghb es un intercambiador de calor de tierra (EAHE⁷), cuyo aire es enfriado por la diferencia de temperatura entre el ambiente exterior e interior y el efecto de humedad al interior.

La evaporación del agua usada para regar jardines ocurre en los muros del Naghb, generando el enfriamiento del aire a través de la humedad. Este canal se construye de forma oblicua y con inclinación, así a medida que avanza el aire por el Naghb se produce el enfriamiento, disminuyendo su temperatura hasta llegar a la vivienda. La figura 2.15 muestra las dimensiones del Naghb.

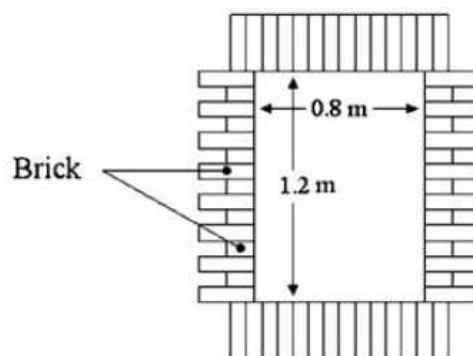


Figura 2.14 sección del Naghb.

Fuente: Performance analysis of a passive cooling system using underground channel (Naghb), S.M. Jafarian.

⁷ Earth to air heat exchanger

Debido al terremoto del 26 de Diciembre del 2003, todo los Baud-Geers fueron daños, por lo que para su estudio se creó un sistema que simulara las condiciones térmicas compuesto por; una bomba conectada al inicio con válvula de aire, el cual es llevado a través de un ducto, en donde se aplica calor en un tramo para luego entrar en una sección bajo tierra. Midiendo la temperatura a la entrada y salida en esta parte del ducto.

Al medir los valores de entrada y salida del tramo bajo suelo se obtuvo un delta de temperatura, a velocidades de 0,1 y 5 m/s obteniendo diferencias de 4 y 6 grados respectivamente. La figura 2.16 muestra la diferencia obtenida, medida en dos velocidades para un promedio de temperatura para cada mes dentro los 5 meses entre Mayo y Septiembre.

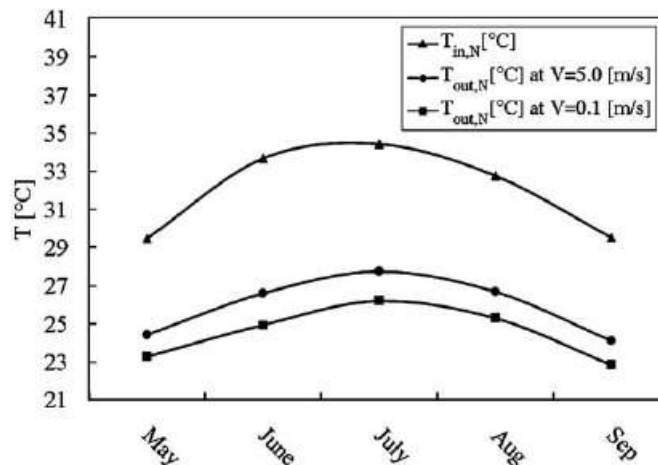


Figura 2.16 disminución de la temperatura por el uso del sistema subterráneo
 . Fuente: Performance analysis of a passive cooling system using undergroundchannel (Naghb)

Los resultado obtenidos muestran una disminución de la temperatura en referencia al exterior para los meses con los valores más altos, indiferente de la velocidad, siendo mayor a 5 m/s: La diferencia entre las velocidades genera un delta de temperatura poco significativo, lo que se puede traducir en la factibilidad de uso en cualquier zona donde el viento predominante sea incluso de baja velocidad.

El segundo caso fue aplicar una temperatura estándar de 31,95°C y con 5,22%, de humedad relativa a la entrada del tramo bajo tierra para luego medir la diferencia de salida. Estos valores fueron obtenidos de un promedio de los 5 meses nombrados anteriormente. Sin embargo aumentar la velocidad del aire no necesariamente genera una disminución de la temperatura, para ello es importante considerar la humedad al interior del canal que al aumentar si produce un efecto en la disminución de la temperatura. La figura 2.17 muestra el comportamiento de la temperatura en función de la velocidad del aire y la humedad, a través de la longitud del tramo bajo tierra.

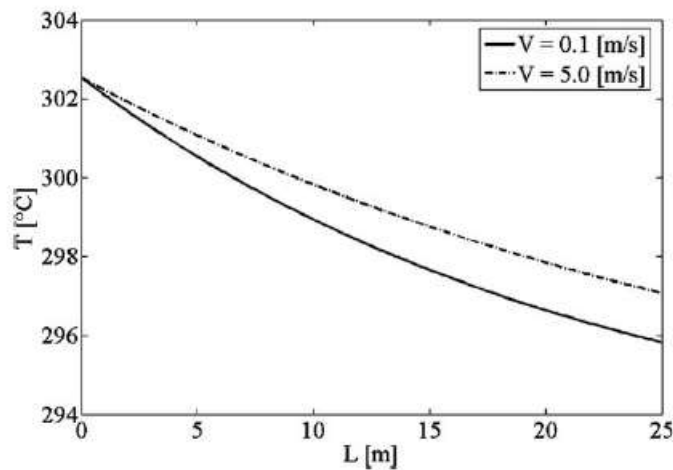


Figura 2.17 variación de la temperatura en función de la velocidad y la humedad.
Fuente: Performance analysis of a passive cooling system using undergroundchannel (Naghb)

Se puede apreciar que al tener una menor velocidad del aire se logra captar mayor humedad y disminuir la temperatura, siendo esto más efectivo que solo aumentar la tasa de circulación de la ventilación. La figura 2.18 muestra la variación de la humedad a través de la longitud del Naghb.

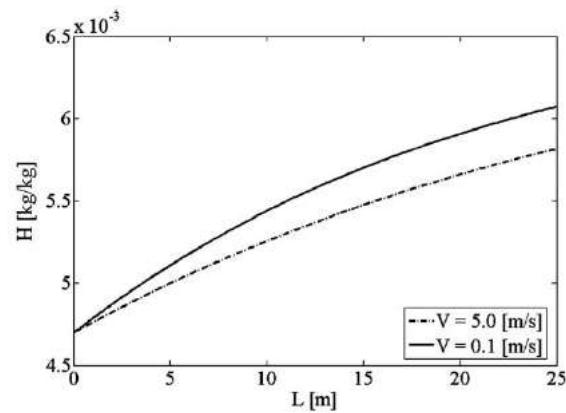


Figura 2.18 variación de la humedad a través del Naghb.

Fuente: Performance analysis of a passive cooling system using undergroundchannel (Naghb)

El aumento de humedad se puede explicar por la pendiente, lo que genera una diferencia en la profundidad entre el inicio y el final de tramo, aumentándola en el punto de salida por el concepto de almacenamiento de calor anual pasivo que presenta el suelo (PAHS⁸), generando una menor temperatura a mayor profundidad.

⁸ Passive anual heat storage

CAPÍTULO III METODOLOGÍA

3. Metodología

3.1. Caso de estudio

A. Suelo

El sitio se encuentra en la zona Z1 del plan regulador de la ciudad, en la intersección de “Las Araucarias” con “Las Amelias”, subiendo por “Prieto”. Área de extensión urbana donde se desarrollan los últimos proyectos inmobiliarios, asegurando la urbanización correspondiente en cuanto a caminos, alcantarillado, agua potable y electricidad. La figura 3.1 detalla la ubicación según plan regulador.



Fuente: Plan regulador comunal de Constitución.

Figura 3.1 Detalle de las distintas zonas en las que se distribuye la ciudad.

Desde el casco histórico de la ciudad en dirección hacia el sur se puede observar el aumento de pendiente hacía las áreas de extensión urbana, siendo esta la única opción para generar nuevos asentamientos lejos del área de inundación. La figura 3.2 muestra la ciudad dentro del contexto geográfico del país.



Fuente: Google Maps
 Figura 3.2 Emplazamiento de la ciudad al sur de Chile

Se observa un primer foco de desarrollo más próximo a la ciudad y un segundo espacio con mayor pendiente, lejos del casco histórico consolidado, donde se ubica el sitio a estudiar. La figura 3.3 destaca los dos puntos de extensión urbana y el caso donde se aplica el concepto.



Fuente: Google earth.
 Figura 3.3 Ubicación de los diferentes focos de desarrollo de la ciudad.

Luego del primer foco cercano a la ciudad se origina un nuevo paño de terrenos para construcción, con el inconveniente de mayores pendientes a su haber. Siendo ocupado principalmente por proyectos habitacionales patrocinados por el estado y casas particulares. La figura 3.4 muestra el terreno donde se ubica la vivienda.



Figura 3.4 apreciación de la pendiente del terreno a estudiar.
Fuente: Elaboración Propia

Desde el punto inferior del sitio seleccionado para el caso de estudio se observa el fin de la pendiente para dar paso a terrenos planos situados en lo alto de la cordillera de la costa, de menor área, los cuales se encuentran ocupados en su mayoría. La figura 3.5 describe la situación.



Fuente: Elaboración Propia
Figura 3.5 Visión Sur, suelo plano desde un punto inferior del terreno.

El terreno cuenta con un visible aumento de pendiente, pero para efectos de la tesis no es necesario certificar su rango hasta el 30%, ya que en los alrededores se levantan edificios y casas, además de la autorización que entrega el Plan regulador como zona de extensión urbano, lo que asegura la factibilidad de construcción en una primera instancia. La figura 3.6 ilustra la pendiente del terreno.

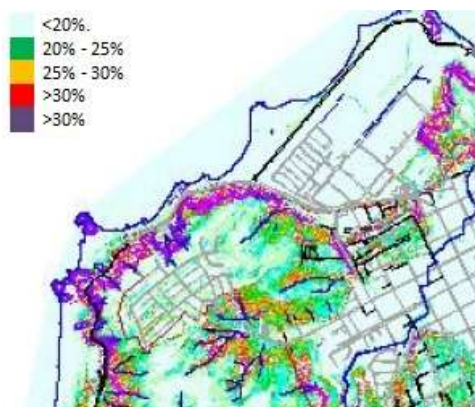


Figura 3.6 Pendientes generadas en el terreno y alrededores.

Fuente: Estudio PRC

En cuanto a su altura y lejanía del borde costero no hay riesgos de inundaciones, no obstante, si existe un nivel moderado de remoción de masas. La figura 3.7 identifica el riesgo en la zona de estudio y la figura 3.8 la topografía del sitio (identificado con la letra A) y su entorno en referencia al casco histórico de la ciudad.

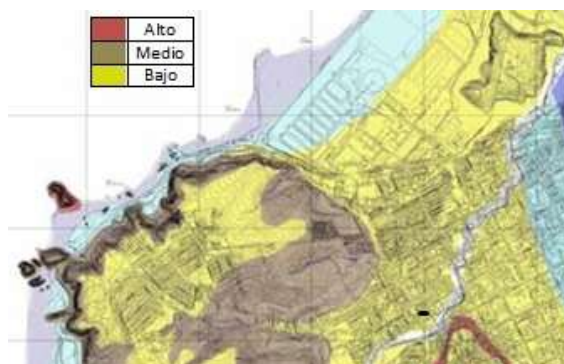


Figura 3.7 Muestra las zonas y su nivel de peligro ante remoción de las masas

. Fuente: Estudio del PRC.



Figura 3.8 Identificación de la topografía del caso de estudio (A)
Fuente: Google Maps

B. Clima de la ciudad de Constitución

En cuanto al clima, la clasificación que otorga la Dirección Meteorológica de Chile para la región del Maule corresponde a templado cálido, con estación seca de 4 a 5 meses.

Durante las épocas de verano debido al desplazamiento hacia el sur del APS⁹ genera un ambiente estable, cálido y seco. Las temperaturas medias anuales varían entre 13°C y 15°C. Las diferencias de temperatura entre el mes más cálido y el más frío varían entre 5°C a 7°C, esto debido al efecto regulador que genera el océano pacífico.

Para el invierno el desplazamiento hacia el norte del APS genera un clima inestable y frecuentes precipitaciones. El monto anual de precipitaciones en la comuna supera los 800 mm y de ellos entre un 50% a 60% de las precipitaciones totales de la ciudad cae durante la fase de invierno y entre un 3% a 6% en la

⁹ Anticiclón del Pacífico Subtropical

estación de verano. Los vientos predominantes en la zona para los meses de verano son sur y sur-este. Para la temporada de invierno toman importancia vientos del norte, responsables del mal clima.

C. Población de la ciudad de Constitución

En cuanto a sus habitantes se establece la proyección de crecimiento de población para la comuna, establecida por el “Reporte Estadístico Comunal 2012” elaborado por el INE¹⁰. La tabla 3.1 detalla el aumento de crecimiento

Tabla 3.1 Aumento de la población en la comuna de Constitución en comparación a la región y nivel país.

Territorio	Año 2002	Año 2012	Variación (%)
Comuna de Constitución	46.081	55.108	19,59
Región del Maule	908.097	1.023.686	12,73
País	15.116.435	17.398.632	15,10

Fuente: Elaboración Propia en base al INE.

El crecimiento de viviendas se caracterizará en función del aumento de población realizada por el INE. En base a la información entregada en cuanto al número de habitantes y el de viviendas a nivel comunal para el año 2002 se obtiene una tasa de 4,56 habitantes/vivienda, usando este valor para la proyección realizada para el año 2012 por la misma entidad se obtienen 12.085 viviendas, esto corresponde a una variación porcentual de 19,67%.

El ingreso promedio por hogar para la comuna de Constitución medido al año 2006 corresponde a \$363.040, situándose por sobre el ingreso promedio de la región del Maule con \$334.900.

Según la encuesta CASEN¹¹ para el año 2009, los hogares para la región y a nivel país se constituyen en su mayoría a nivel estructural por “casa o casa en cité” y en cuanto a su tipología corresponden a “nuclear simple completo”. Ambos conceptos se cumplen tanto para espacios urbanos como rurales. Las tablas 3.2 y 3.3

¹⁰ Instituto Nacional de Estadísticas

¹¹ Caracterización Socioeconómica Nacional

detallan los valores para el tipo de vivienda y formación del hogar respectivamente.

Tabla 3.2 Número de viviendas tipo en la región del Maule y a nivel país.

Territorio	Tipo de vivienda	Número de hogares por zona		
		Urbana	Rural	Total
Región del Maule	Casa o Casa en cité	187.084	95.051	282.135
País	Casa o Casa en cité	3.509.035	599.775	4.108.810

Fuente: Elaboración Propia en base al INE-CASEN.

Tabla 3.3 Número de viviendas en cuanto a la tipología de los hogares en la región del Maule y a nivel país.

Territorio	Tipología del hogar	Número de hogares por zona		
		Urbana	Rural	Total
Región del Maule	Nuclear simple completo	98.996	53.897	152.893
País	Nuclear simple completo	1.939.575	334.161	2.273.736

Fuente: Elaboración Propia en base a INE-CASEN.

3.2 Definición de variables de estudio y métodos

3.2.1 Propuesta integral de la vivienda troglodita

Para generar la propuesta de diseño de una vivienda bajo el concepto troglodita para el caso de estudio en la ciudad de Constitución se detalla a continuación las diferentes etapas que regulan su creación. La tabla 3.4 muestra el resumen de los diferentes puntos.

i. Diseño espacial

Se considera como referencia la información obtenida del caso de estudio, en base a los parámetros promedios de los siguientes aspectos: metros cuadrados de construcción y terreno, número de habitaciones, baños e instalaciones en general al interior.

La materialidad de la construcción deberá ser orientada a lo existente en la zona de estudio y utilizar técnicas de construcción pasiva a incorporar en el diseño para tener un máximo aprovechamiento de los recursos naturales disponibles y disminuir el uso de elementos mecánicos para obtener el confort interior.

ii. Diseño planimétrico

Usando los parámetros teóricos de rendimientos obtenidos para la edificación subterránea, se aplica en función de las características naturales del caso de estudio el factor vector de excavación y porcentaje de la envolvente en contacto con el suelo. Específicamente se desea obtener los beneficios del PAHS y dar un segundo enfoque de esparcimiento urbano.

iii. Evaluación térmica

En este punto se considera como línea base la capacidad que entrega el suelo como material regulador de temperatura, efecto denominado PAHS, y según el método de excavación. Aplicación de la NCh853.Of91 para el cálculo de transferencias de calor de la estructura.

iv. Evaluación Ecoeficiente

Mediante los casos de estudio y sus buenas prácticas proyectar un valor teórico de rendimiento energético, debido al menor o nulo uso de elementos mecánicos de climatización. Usando como parámetro de comparación el gasto de una vivienda tradicional.

3.2.2 Variables de estudio

i. Espacial

Para el diseño de la vivienda se usa como variable la casa tipo de la ciudad de Constitución en función de las características de la zona para aplicar el concepto troglodita.

ii. Planimétrica

Cantidad de metros cuadrados que están en contacto con la envolvente de la estructura, siendo esto fiel reflejo del rendimiento térmico obtenido y permitiendo el PAHS.

iii. Temperatura

Variación de cantidad de grados Celsius y uso del climograma para determinar aspectos de confort higrotérmico.

iv. Ecoeficiencia

En función de la eficiencia energética teórica lograda, obtener CO₂ equivalente durante la etapa de uso de la vivienda.

Tabla 3.4 Factores a considerar para el diseño

Ítem	Descripción	Método	Variable
1	Diseño vivienda	Aplicación de resultados de casos de estudio	Vivienda tipo en función de las características de la zona
2	Diseño Planimétrico	Aplicación del vector de excavación y contacto con envolvente.	Δm^2
3	Evaluación térmica	Aplicación de NCh853.Of91, OGUC y Climograma Higrotérmico.	ΔT° (°C)
4	Evaluación ecoeficiente	CO ₂ equivalentes en función del rendimiento energético teórico según casos de estudios	ΔCO_2

Fuente: Elaboración Propia.

CAPÍTULO IV PROPUESTA

4. Propuesta

4.1. Diseño de la vivienda bajo el concepto troglodita

Según características de la zona se diseña una vivienda de 3 dormitorios, 2 baños, living comedor y cocina, con un total de $58,9 \text{ m}^2$ construidos. La distribución de los elementos se realiza teniendo en cuenta la orientación norte del caso de estudio. La fachada principal de la vivienda tiene como principal función permitir el máximo aprovechamiento de la luz día utilizando DVH¹² para ello.

Los cristales de recintos como dormitorios, living y comedor se piensan incoloros ya que la privacidad se puede generar con elementos al interior, para zonas privadas como baños y cocina se considera un cristal oscuro que dificulte el paso de luz natural; dentro de los cual se puede usar un sistema reflectivo Low-E

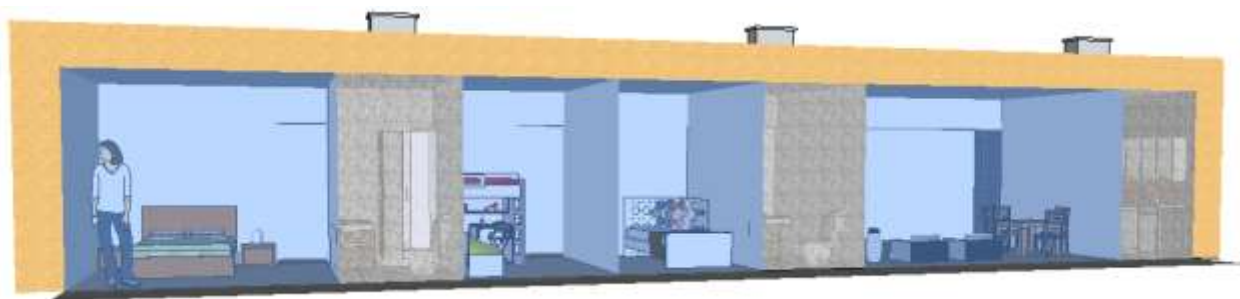


Figura 4.1 Fachada Norte de la vivienda.
Fuente: Propia

Para generar ventilación la fachada principal y el ancho de la vivienda permite la incorporación de aire sin necesidad de generar fenestraciones opuestas, pero en las zonas críticas de baños y cocina se utiliza chimeneas de ventilación para aumentar la tasa de cambio de aire por diferencia en densidades. En la figura 4.2 se observa la ubicación de los elementos para la circulación de aire.

¹² DVH: Doble Vidriado Hermético



Figura 4.2 Ubicación chimeneas de ventilación
Fuente: Elaboración Propia.

La parte posterior tiene una diferencia de altura respecto a la fachada principal para generar un menor volumen de llegada para el aire y la luz natural, además de repartir la carga de suelo hacía la parte posterior de la vivienda. La figura 4.3 muestra la parte lateral de la vivienda y su diferencia de niveles.

El marco perimetral en la fachada principal que envuelve los cristales tiene la función de contener posibles movimientos de masas de menores dimensiones pero que obstaculicen la entra o el pasillo exterior.

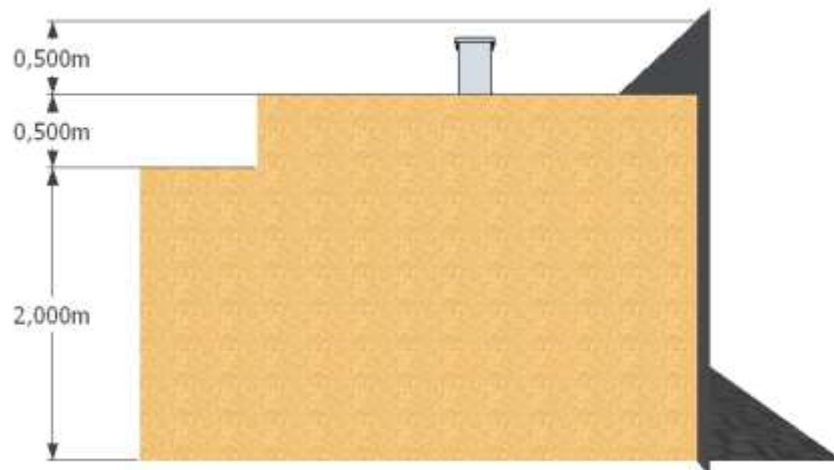


Figura 4.3 Vista lateral (Este y Oeste).
Fuente: Elaboración Propia.

Las dimensiones de espacios interiores están pensadas sobre el promedio de viviendas para un sector socioeconómico medio, no así en cuanto a costos. Ya

que la materialidad de la construcción se considera con cimientos de hormigón armado y la estructura de madera, debido a la abundancia en la zona de estudio. La figura 4.4 representa la vista en planta y la figura 4.5 la vista posterior.



Figura 4.4 Dimensiones en planta de la vivienda.
Fuente: Elaboración Propia.

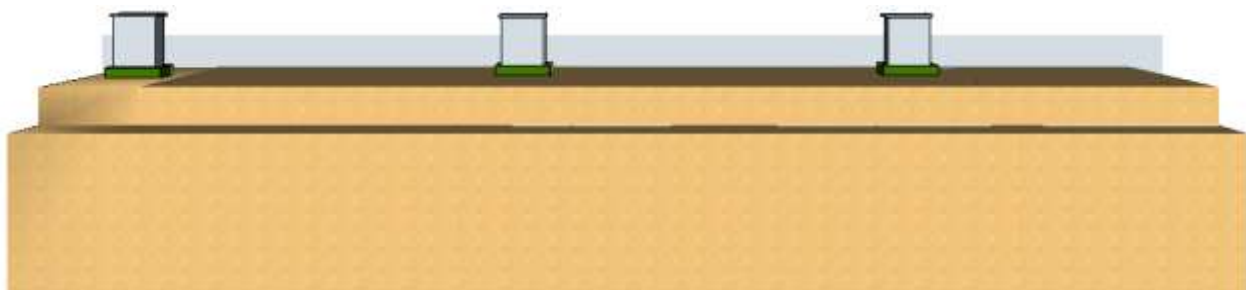


Figura 4.5 Vista Sur.
Fuente: Elaboración Propia.

4.2 Diseño planimétrico

Considerando una pendiente del 17° en el sitio del caso de estudio y en función del diseño de la vivienda se obtiene el perfil longitudinal para la nivelación del terreno en primera instancia, de ser factible se debe utilizar el material de corte como terraplén. La figura 4.6 representa lo descrito.

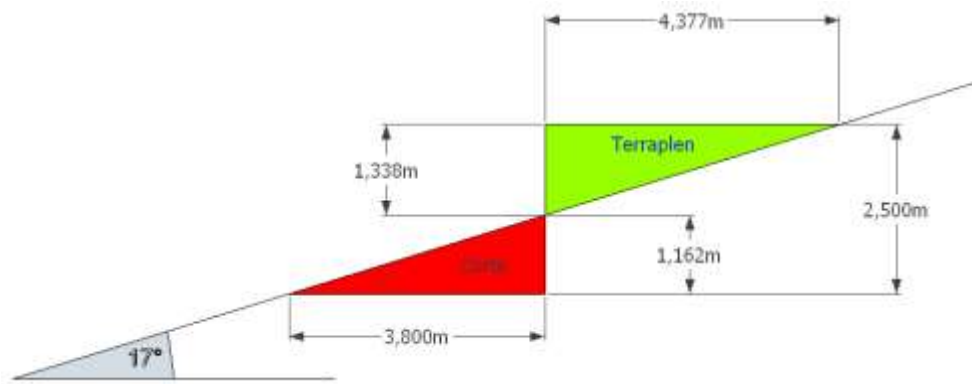


Figura 4.6 diseño planimétrico del terreno.
Fuente: Elaboración Propia.

Al ser similares los valores, sin considerar el esponjamiento del suelo, se puede obtener del material extraído lo necesario para el terraplén. La tabla 4.1 entrega la cantidad de m^3 de cada uno.

Tabla 4.1 Valores de corte y terraplén en función del diseño de la vivienda

	m^3 de suelo
Corte	34,22
Terraplén	45,39

Fuente: Elaboración Propia.

Una vez nivelado el terreno para la construcción se debe considerar el material de relleno para la envolvente, considerando la altura de 1 metro de alto se obtiene un valor de $58,9 m^3$, estos deberán ser extraídos del mismo terreno donde se construirá. La figura 4.7 entrega el perfil obtenido para el relleno.

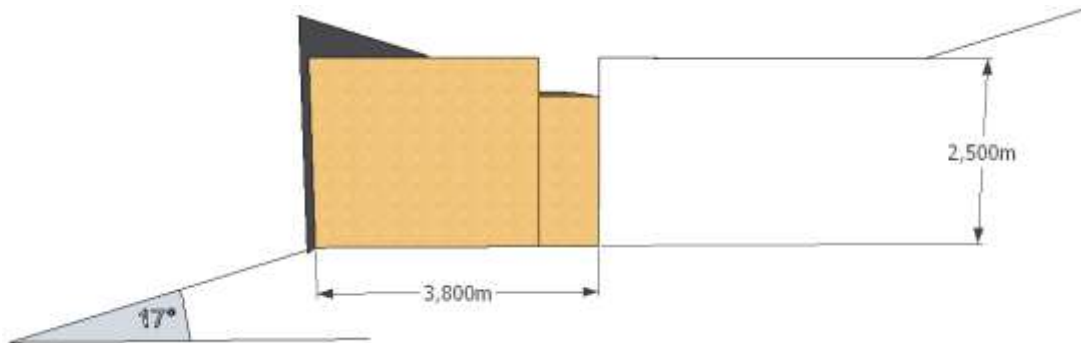


Figura 4.7 Perfil obtenido en base al diseño de la vivienda para el relleno de la envolvente.

Fuente: Elaboración Propia.

4.3 Evaluación térmica

4.3.1. Normativa Chilena

La NCh1079 establece los valores de condiciones térmicas según la zona donde se sitúa la ciudad, la aplicación de estos valores se modifican según el decreto N°47 de la OGUC¹³, Artículo 4.1.10. La Figura 4.8 detalla la zona que se entrega al área de estudio y la tabla 4.2 entrega los valores máximos para cumplir con la reglamentación térmica



Figura 4.8 clasificación para la ciudad de Constitución.

Fuente: NCh1079

Tabla 4.2 Valores máximos para transmitancia y resistencia térmica de la envolvente.

ZONA	TECHUMBRE		MUROS		PISOS VENTILADOS	
	U (W/m²K)	Rt (m²K/W)	U (W/m²K)	Rt (m²K/W)	U (W/m²K)	Rt (m²K/W)
1	0,84	1,19	4,0	0,25	3,60	0,28
2	0,60	1,67	3,0	0,33	0,87	1,15
3	0,47	2,13	1,9	0,53	0,70	1,43
4	0,38	2,63	1,7	0,59	0,60	1,67
5	0,33	3,03	1,6	0,63	0,50	2,00
6	0,28	3,57	1,1	0,91	0,39	2,56
7	0,25	4,00	0,6	1,67	0,32	3,13

Fuente: Elaboración propia en base a la OGUC.

¹³ Ordenanza General de Urbanismo y Construcción

Los valores de transmitancia térmica y resistencia que se entregan para la zona 4, la cual corresponde a la ciudad de Constitución, son los que se usarán como parámetro de comparación según la materialidad a usar.

La OGUC a través de la tabla 3, capítulo 1, título 4 entrega los valores máximos a considerar para superficies vidriadas según el tipo de materialidad que lo compone y la zona. La tabla 4.3 entrega estos valores.

Tabla 4.3 Máximo porcentaje de superficie vidriada según zona.

ZONA	VIDRIO MONOLÍTICO	DVH	
		3,6 > U > 2,4 W/m²K	U < 2,4 W/m²K
1	50%	60%	80%
2	40%	60%	80%
3	25%	60%	80%
4	21%	60%	75%
5	18%	51%	70%
6	14%	37%	55%
7	12%	28%	37%

Fuente: Elaboración propia en base a la OGUC.

Las superficies vidriadas para la envolvente de la vivienda corresponden a un $38,75 \text{ m}^2$, correspondiendo a un $40,16\%^{14}$ del total de parámetros verticales. La tabla 4.3 resume los valores de área y conductividad térmica máxima para cada elemento.

$$U_{SV} = 38,75 \text{ m}^2 * 3,6 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \text{ K}} = 139,50 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \text{ K}}, \text{ ecuación 4.1}$$

$$U_{SM} = 57,75 \text{ m}^2 * 1,7 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \text{ K}} = 98,18 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \text{ K}}, \text{ ecuación 4.2}$$

$$U_{ST} = 58,90 \text{ m}^2 * 0,38 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \text{ K}} = 22,39 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \text{ K}}, \text{ ecuación 4.3}$$

Tabla 4.3 valores de incidencia de los elementos que componen la envolvente.

Elemento	M² de incidencia	Conductividad W/K
Vidrios	38,75	139,50
Techos	58,90	22,39
Muros	57,75	98,18

¹⁴ Referente solo a elementos verticales de la edificación.

Total	155,40	260,07
--------------	---------------	---------------

Fuente: Elaboración propia

La comparación frente a la materialidad de la estructura a utilizar será respecto a hormigón, suelo y vidrio, según corresponda para elementos de la envolvente. La tabla 4.4 entrega valores de conductividad térmica para cada material.

Tabla 4.4 valores totales de conductividad térmica¹⁵.

Material	Transmitancia W/m ² °C	Ventanas		Techos		Muros	
		Área (m ²)	Conductividad W/°C	Área (m ²)	Conductividad W/°C 2	Área (m ²) 2	Conductividad W/°C 3
Hormigón Armado	0,15			58,90	8,84	57,75	8,66
Suelo Arcilloso	1,50			58,90	88,35	57,75	86,63
Vidrio	3,60	38,75	139,50				
TOTAL			139,50		97,19		95,29

Fuente: Elaboración propia.

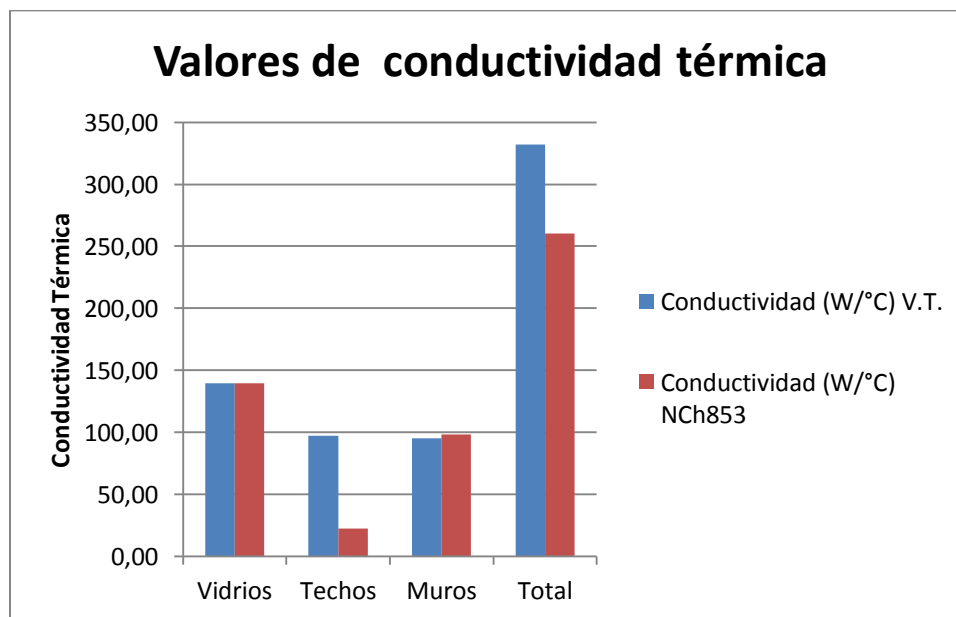


Figura 4.9 Comparación entre NCh853 y caso de estudio, para valores de conductividad térmica.

Fuente: Elaboración Propia.

¹⁵ Obtenidos del Catálogo Técnico de la Edificación (CTE), España y NCh853, Chile.

Para valores obtenidos por la vivienda diseñada la condición para techos no se cumple en primera instancia, lo que hace necesario aplicar el método alternativo número uno de la NCh2251, consistente en la utilización de un material etiquetado con el rotulado R100¹⁶ para la zona 4. La figura 4.9 entrega la comparación entre valores exigidos y obtenidos para los elementos de la envolvente del caso de estudio, en base a la OGUC.

Tabla 4.5 Valores de R100 para la zona de estudio.

Zona	Techumbre	Muros	Pisos ventilados
1	94	23	23
2	141	23	98
3	188	40	126
4	235	46	150
5	282	50	183
6	329	78	239
7	376	154	295

Fuente: Elaboración propia en base a la NCh2251.

El material utilizado como aislante para el complejo techumbre debe estar etiquetado con R100=235, dentro de las soluciones se encuentran las planchas aislantes Aislapol de 100 mm para la zona 4 y lana de vidrio Aislaglas de 100 mm. La tabla 4.5 Entrega los valores de R100 para cada elemento según la zona.

4.3.2. Diferencias de temperatura

Para el cálculo de las variaciones de grados entre el exterior e interior de la vivienda, se considera las temperaturas medias, máximas y mínimas medias mensuales. Usadas como parámetro de comparación para el cálculo de los valores al usar el método de construcción troglodita. La tabla 4.6 entrega las diferentes temperaturas para la localidad de Constitución, Chile.

Tabla 4.6 Diferentes temperaturas para el periodo de un año en Constitución, Chile.

E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	ANUAL
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	-------

¹⁶ R100 = Valor equivalente a la resistencia térmica ($m^2 \text{ } ^\circ\text{C/W}$) x 100.

T. Media máxima (°C)	24,4	23,6	22,5	19,7	16,5	15	14,6	15,3	17	18,7	20,8	22,5	19,2
T. Media (°C)	18,2	17,7	16,2	13,9	12,1	10,7	10,1	10,4	11,7	13,3	15,5	15,2	13,9
T. Media mínima (°C)	12	11,8	10,4	8,9	8,2	6,9	6	6	7,2	8,2	9,7	10,2	8,9

Fuente: Elaboración propia en base a Bioclimatografía de Chile, PUC.

Los casos de estudios muestran que la temperatura media anual del suelo corresponde a la temperatura media anual del ambiente exterior, estabilizándose a mayor profundidad, esto quiere decir que se obtiene una temperatura constante durante todo el año bajo la superficie correspondiente a 13,9 °C y a medida que la profundidad disminuye aumenta la variación. La figura 4.10 muestra la variación respecto a los casos de estudio en función de las temperaturas medias mensuales obtenidas.

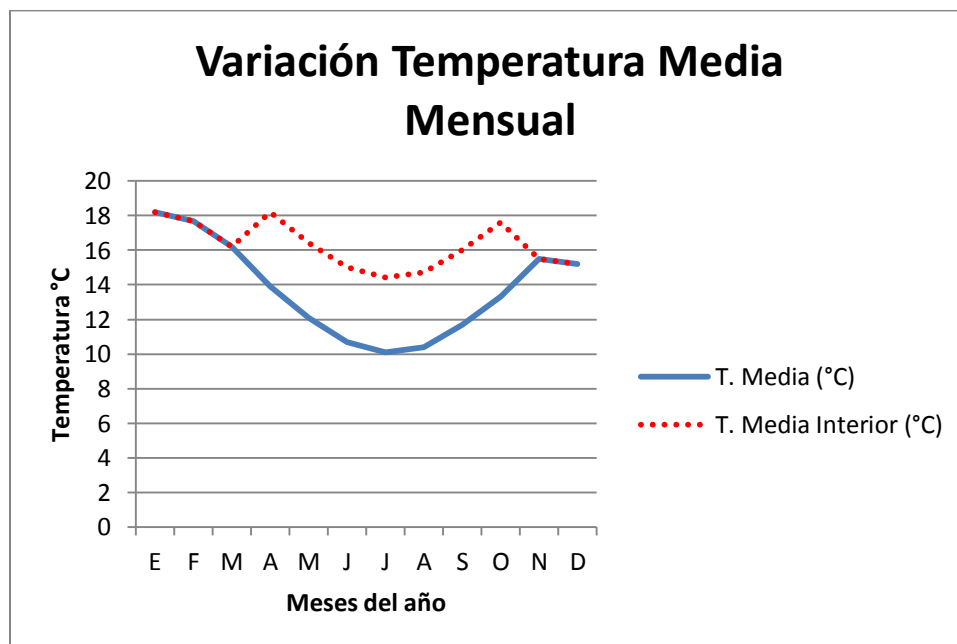


Figura 4.10 Temperatura media y rango interior teórico.

Fuente: Elaboración Propia.

Para el caso más desfavorable se considera solo el aumento de las temperaturas bajo la media anual de 13,9°C. Manteniendo las que se encuentran sobre este valor constante. La tabla 4.7 entrega los valores exactos.

Tabla 4.7 Valores de temperatura para el ambiente interior.

	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
T. Media (°C)	18,2	17,7	16,2	13,9	12,1	10,7	10,1	10,4	11,7	13,3	15,5	15,2
T. Media Interior (°C)	18,2 0	17,7 0	16,2 0	18,2 1	16,4 1	15,0 1	14,4 1	14,7 1	16,0 1	17,6 1	15,5 0	15,2 0

Fuente: Elaboración Propia.

Para el caso de las temperaturas medias máximas y mínimas se aplica el factor límite superior e inferior de 19,2°C y 8,9°C, respectivamente. Manteniendo las demás constantes. La figura 4.11 muestra la variación más desfavorable respecto de las temperaturas medias máximas y mínimas.

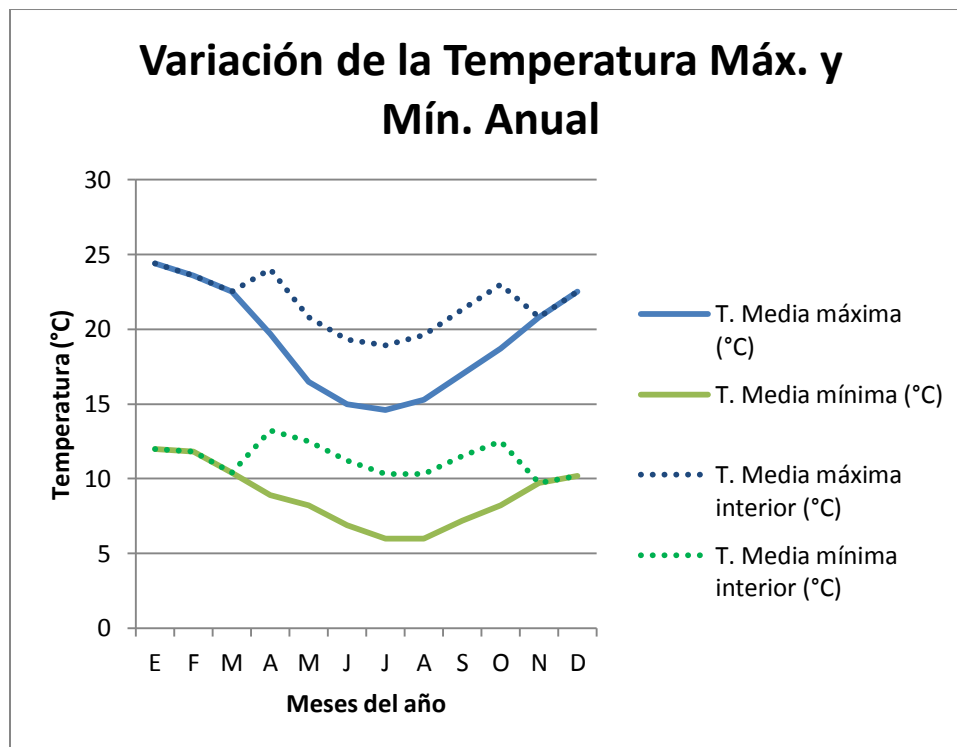


Figura 4.11 Variaciones de las temperaturas medias máximas y mínimas mensuales.

Fuente: Elaboración Propia.

Las variaciones más importantes se producen entre los meses de Abril y Octubre, los seis periodos centrales del año, donde decaen las temperaturas máximas y mínimas. La tabla 4.8 entrega los valores exactos para cada mes.

Tabla 4.8 Valores de temperatura (°C) en el interior.

	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
T. Media máxima interior (°C)	24,4 0	23,6 0	22,5 0	24,0 1	20,8 1	19,3 1	18,9 1	19,6 1	21,3 1	23,0 1	20,8 0	22,5 0
T. Media mínima interior (°C)	12,0 0	11,8 0	10,4 0	13,2 1	12,5 1	11,2 1	10,3 1	10,3 1	11,5 1	12,5 1	9,70	10,2 0

Fuente: Elaboración Propia.

El parámetro de comparación usado para concluir los meses de confort al interior de la vivienda se basa en el diagrama higrotérmico, que ubica en un intervalo de 17 a 27°C grados la comodidad térmica al interior de un recinto, dando una tolerancia de +/- 1°C para el máximo y mínimo valor dentro del confort.

De las variaciones en las temperaturas mensuales obtenidas anteriormente se observa que para la temperatura media anual al momento de estabilizarse con el suelo los meses de Junio, Julio y Agosto son los que se alejan de la zona de confort pasiva. Requiriendo el uso de elementos de climatización mecánicos. La figura 4.12 ubica el intervalo de confort para los meses del año agrupados en invierno y verano, principalmente.

En cuanto a las temperaturas medias máximas y mínimas establecidas, para el ambiente al interior de la vivienda se requiere calefacción para las temperaturas mínimas, durante periodos de tiempos menores hasta alcanzar valores de temperaturas medios ambientales, como un estándar de confort.

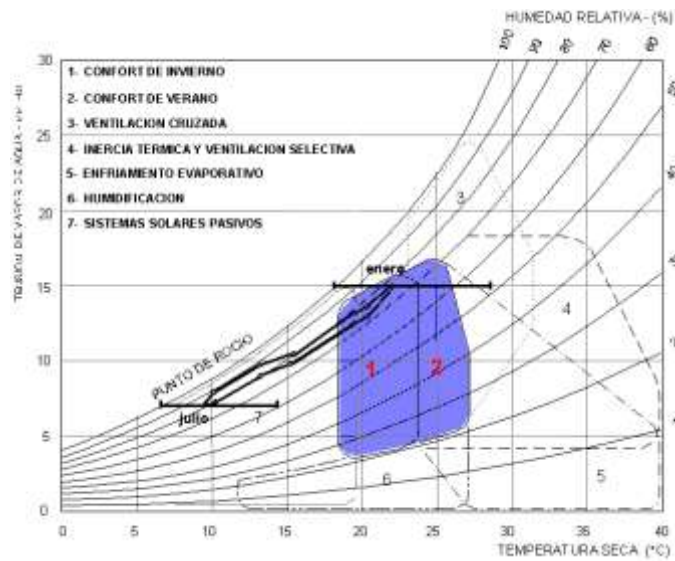


Figura 4.12 Climograma para el estándar de calidad del confort higrotérmico.
Fuente: <http://www.arquinstal.com.ar/publicaciones/gramado95/evalhosp.html>.

4.3.3. Evaluación ecoeficiente

El gasto de energía está en relación directa con los meses donde se requiera calefaccionar o refrigerar el ambiente. La disminución de elementos mecánicos para el confort interior es directamente proporcional al costo de la energía, y por ende a la cantidad de gases de efecto invernadero que se emitan a la atmósfera. La tabla 4.9 entrega los valores.

Tabla 4.5 distribución de energía y dinero para diferentes artefactos de viviendas.

Categoría o tipo de artefacto y su potencia nominal en W	Potencia nominal del aparato	Nº de aparatos	Horas utilizado diariamente	Consumo en kwh
 Lámparas de bajo consumo y tubos fluorescentes	20 W	7	8	1,12
 Calefactores o ventiladores	1600 W	1	4	6,4
 Lavadora alimentado con agua fría.	2000 W	1	1	2
 Equipo de música	60 W	1	1	0,06
 Televisores	90 W	2	1	0,18
 Planchas	1500 W	1	0,5	0,75
 Secador de pelo	1200 W	1	1	0,6
 Aspiradora	50 W	1	0,5	0,025
 Refrigerador	400 W	1	6	2,4
Consumo Total Aproximado (Kwh)				13,54
Consumo mensual (KWh)				406,05
Consumo mensual (\$)				35.732

Fuente: Elaboración Propia en base a “Red Pacto Global Chile”.

Para una elaboración del gasto mensual con un costo en la factura eléctrica por \$35.732 pesos, cumpliendo los requerimientos en su mayoría por medio de electricidad, se observa un mayor consumo eléctrico en elementos de climatización mecánica (refrigeración y calefacción). La figura 4.13 entre los porcentajes de incidencia de cada elemento sobre el consumo mensual.

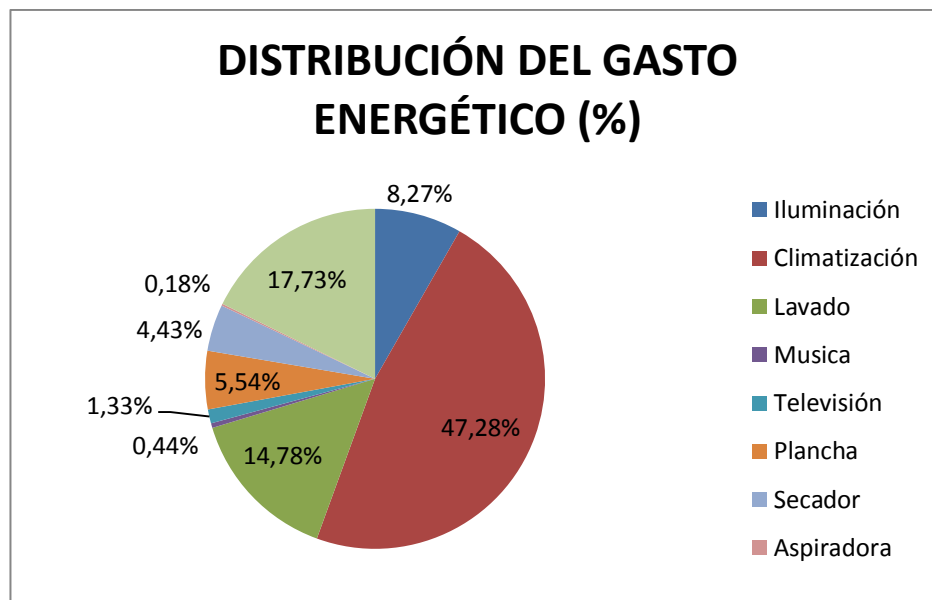


Figura 4.13 Consumo energético mensual
Fuente: Elaboración Propia.

El ahorro máximo en un caso perfecto corresponde a la eliminación del ítem climatización en los costos de la factura eléctrica, siendo este valor \$16.896 pesos correspondiente al 47,28% del total del costo de la factura eléctrica mensual. La figura 4.14 entrega los valores de cada ítem sobre el total del valor de la factura.

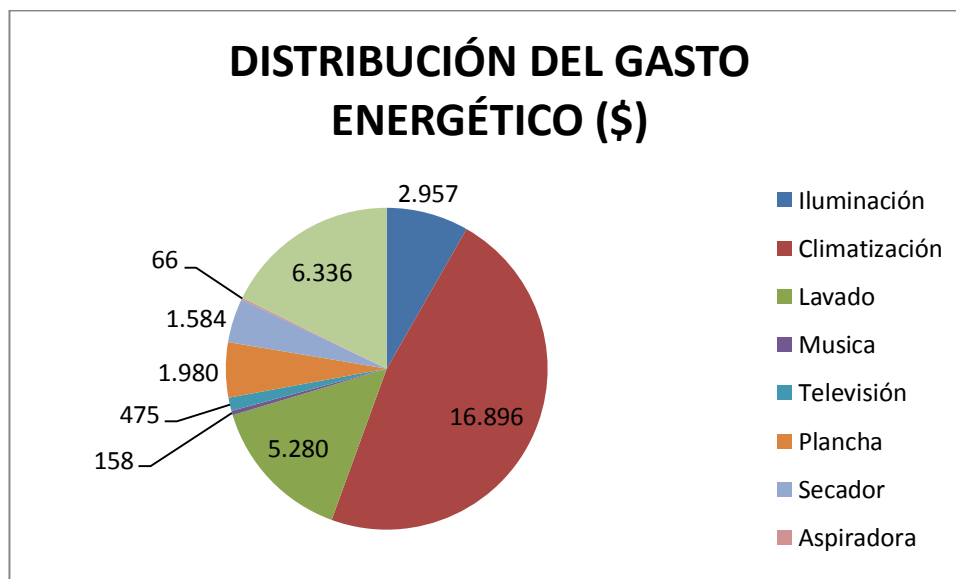


Figura 4.14 incidencia del consumo eléctrico en pesos.
Fuente: Elaboración Propia

Para el análisis de la temperatura media mensual se aplica para los meses de Julio y Agosto, el uso de elementos mecánicos de climatización al interior de la vivienda. Lo que redunda en costo anual de la factura eléctrica de \$259.829 frente a \$428.789 pesos sin el uso del método de construcción troglodita, obteniendo una diferencia anual de \$168.960, lo que corresponde al 39,40%. La figura 4.15 representa la comparación de los valores obtenidos.

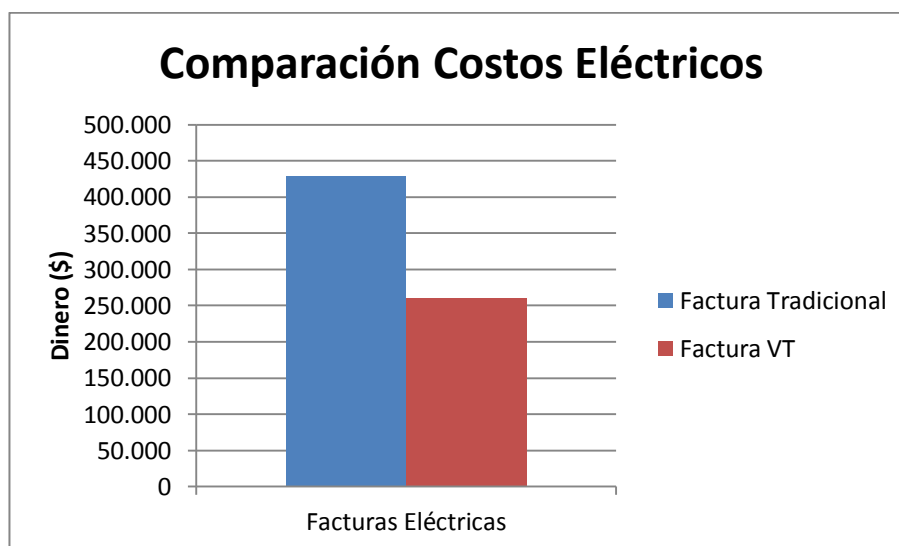


Figura 4.15 Comparación de costos entre la vivienda tradicional y troglodita.
Fuente: Elaboración Propia.

Las temperaturas medias máximas y mínimas mensuales para los meses de Junio, Julio, Agosto y Septiembre una vez aplicado el factor de corrección por temperatura al ambiente interior de la vivienda troglodita a 2 metros de profundidad. Se tiene que en comparación a los meses de verano (Enero y Febrero) se requiere el uso de calefacción para los periodos más fríos dentro de la época de invierno, debido a la menor humedad en el ambiente lo que entrega una sensación térmica menor.

Esto redunda en el costo de la factura eléctrica anual, siendo este valor para la aplicación del concepto troglodita, de \$293.621 por sobre \$428.789 pesos. Esto significa una diferencia anual en el costo de la factura eléctrica de \$135.168 pesos y cuya incidencia en el ahorro corresponde al 31,52%. La figura 4.16 representa la

comparación de costos en función de las temperaturas medias máximas y mínimas mensuales.

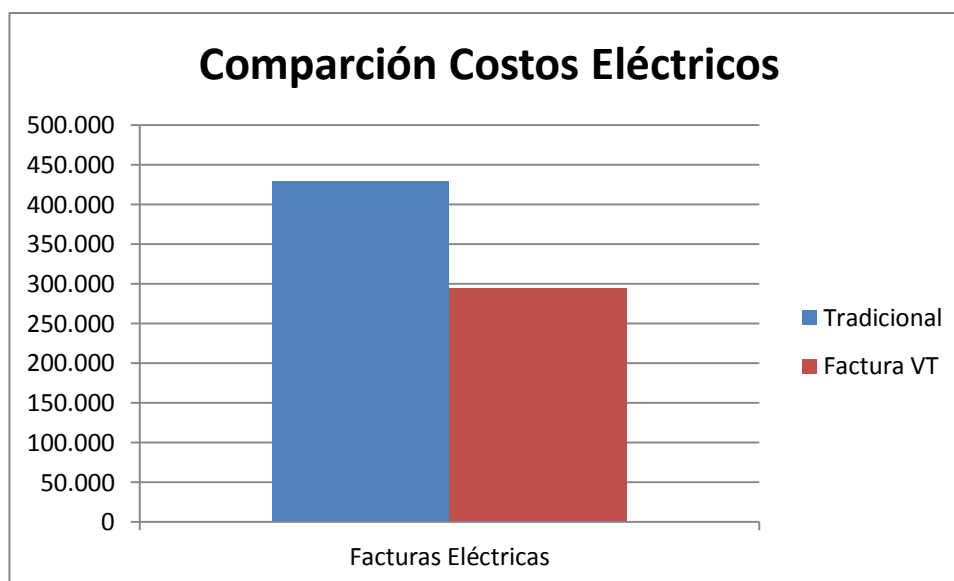


Figura 4.16 Comparación de costos en la vivienda tradicional y troglodita a temperaturas máx. y mín.

Fuente: Elaboración Propia.

El mix energético para el cálculo de emisiones de CO_2 equivalente por gasto eléctrico de la vivienda para el año 2012 corresponde a $300 \frac{gCO_2}{Kwh}$. Para una vivienda tradicional la cantidad de CO_2 equivalente resulta en $1.461.780 \frac{gCO_2}{Kwh}$ anuales, en comparación a una vivienda troglodita con $885.780 \frac{gCO_2}{Kwh}$ anuales en función de las temperaturas medias mensuales. Y en $1.000.980 \frac{gCO_2}{Kwh}$ anuales para el estudio con las temperaturas medias máximas y mínimas mensuales.

En ambas cosas la disminución respecto a la vivienda superficial es significativa, siendo de un 39,40% y 31,52% respectivamente. La figura 4.17 Compara los valores de las viviendas superficial (VS), vivienda troglodita con las temperaturas medias mensuales (VTTMM) y vivienda troglodita con temperaturas máximas y mínimas mensuales (VTTMMM).

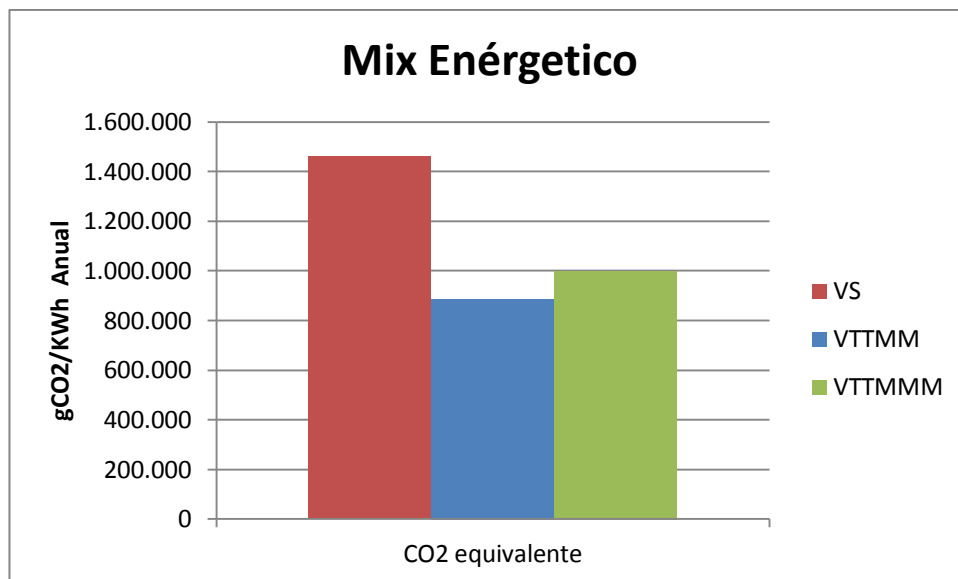


Figura 4.17 Comparación de emisiones de CO2 equivalentes entre la vivienda superficial y troglodita.
Fuente: Elaboración Propia.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES

5. Conclusiones

El enfoque de la de investigación se sustenta en base a casos de estudio y sus buenas prácticas aplicadas a la ciudad de Constitución, por lo que los resultados de diseño y ecoeficiencia son de tipo teórico. Siendo el contexto que allí se da, catalogado, como dentro de lo más desfavorable que se puede obtener, debido a temas de humedad, terreno y nivel socioeconómico.

En cuanto a los casos estudiados, estos demuestran una gran variedad de soluciones que se adaptan a las características naturales donde se ubican, no importando el tipo de topografía o clima que allí se dé. La Figura 5.1 entrega variadas soluciones para diferentes realidades geográficas.

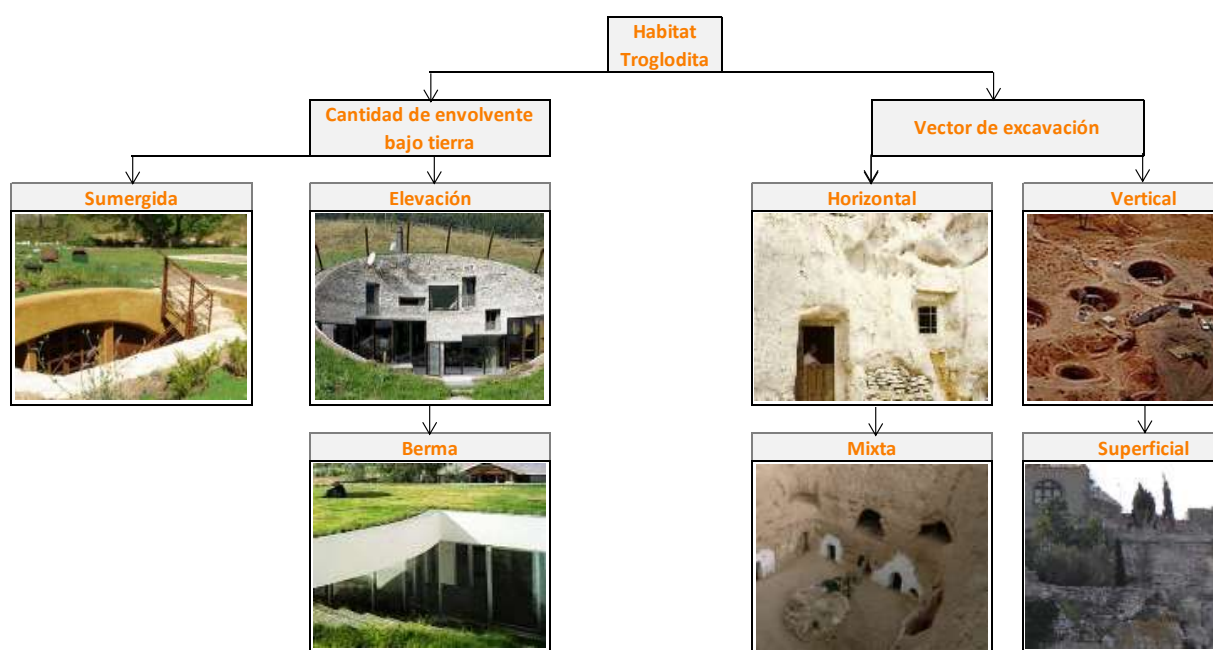


Figura 5.1 Soluciones constructivas según las características de la zona.
Fuente: Elaboración Propia.

En referencia al caso de estudio, para la incorporación del concepto troglodita a las viviendas de la localidad, se deben tener en cuenta los factores limitantes para su diseño. El tipo de edificación puede ser una solución viable para la escasez de suelo que presenta la ciudad y la necesidad al mismo tiempo de ocupar los espacios donde se construye para el esparcimiento urbano de la población.

Al alcanzar mayores cotas de construcción es posible generar un desplazamiento de la población hacía zonas libres de riesgos de inundación y estableciendo en el casco histórico consolidado de la ciudad áreas de edificios para habitación transitoria. La figura 5.2 detalla el desplazamiento deseado para las edificaciones habitacionales de la ciudad al emplear el concepto troglodita.



Figura 5.2 Desplazamiento de la población hacia zonas elevadas.
Fuente: Elaboración Propia

El principal problema de la normativa chilena frente a la aplicación del suelo como material para la aislación, es la forma en que se mide su eficiencia como un elemento más de la envolvente y no como un sistema integral de regulación y almacenamiento de calor a nivel mundial y responsable del clima. La Figura 5.3 establece las disyuntivas al utilizar un recubrimiento de 2 metros de altura sobre la vivienda para alcanzar los valores deseados.

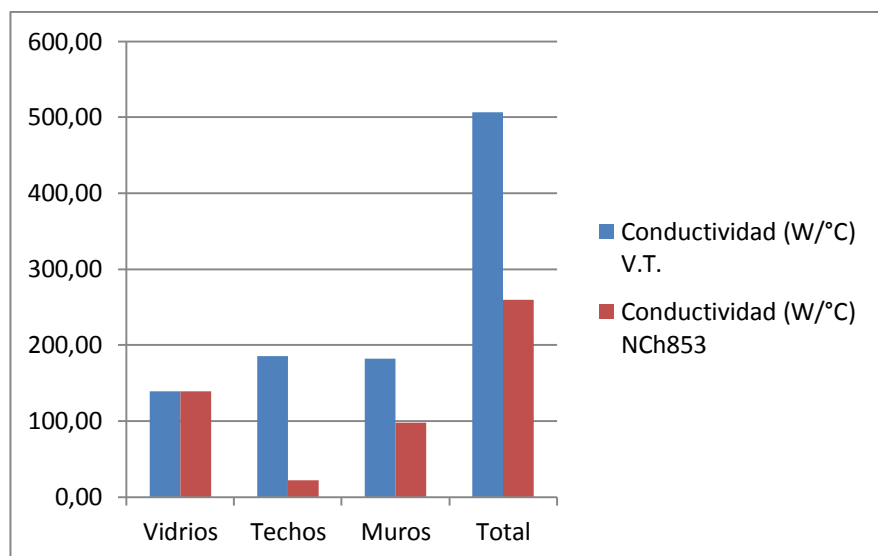


Figura 5.3 Valores de conductividad térmica para el concepto troglodita.
Fuente: Elaboración Propia.

El método sobrepasa los niveles máximos exigidos por la norma Chilena, pero entrega un método alternativo para cumplir los requerimientos a través de la incorporación de un material aislante con el rotulado R100. La tabla 5.1 entrega los valores que se obtuvieron para el cálculo con un recubrimiento de dos metros.

Tabla 5.1 Valores de Conductividad térmica para elementos de la envolvente.

Material	Transmitancia W/m	Ventanas		Techos		Muros	
		Área (m ²)	Conductivida d (W/°C) V.T.	Área (m ²)	Conductivida d W/°C 2	Área (m ²)2	Conductivida d W/°C 3
Hormigón Armado	0,15			58,90	8,84	57,75	8,66
Suelo Arcilloso	3,00			58,90	176,70	57,75	173,25
Vidrio	3,60	38,75	139,50				
TOTAL			139,50		185,54		181,91

Fuente: Elaboración Propia.

Con un valor total de 506,95 (W/°C) sobrepasa los 260,07 (W/°C) en un 48,70%, lo que hace necesario cumplir con los métodos alternativos para cada elemento. Los valores de R100 para techo son 235 y para muro 46¹⁷.

En base a las prácticas obtenidas en los casos de estudio se establece que la situación de ecoeficiencia para el rendimiento de viviendas bajo el concepto

¹⁷ Obtenidos de la tabla 4.5

troglodita es mayor que las de tipo tradicional, disminuyendo el consumo energético con una implicancia en costos de un 39,40% anual para el caso del análisis de temperaturas medias mensuales y un en 31,52% anual para las temperaturas medias máximas y mínimas mensuales. La figura 5.3 entrega entre la comparación para los tres casos obtenidos.

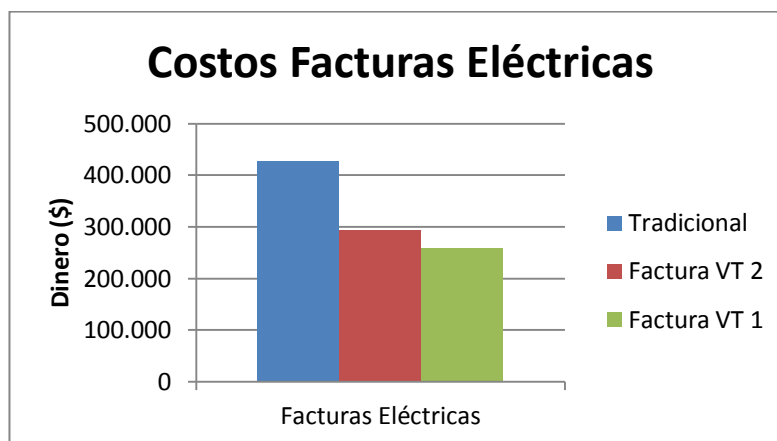


Figura 5.3 Comparación en pesos de las tres facturas eléctricas obtenidas.
Fuente: Elaboración Propia.

En cuanto al uso del mix energético para el cálculo de gases efecto invernadero equivalente resulta en una disminución proporcional al del rendimiento energético, siendo la base de comparación para la vivienda en superficie con un valor de $1.461.780 \frac{gCO_2}{Kwh}$ anuales. Al aplicar el concepto troglodita se obtienen $1.000.980 \frac{gCO_2}{Kwh}$ anuales para el primer caso y $885.780 \frac{gCO_2}{Kwh}$ anuales para el segundo, ambas situaciones presentan disminuciones en la cantidad de CO2 equivalente emitido.

Los alcances que no corresponden al estudio de esta tesis son un análisis estructural de la vivienda y mediante el método científico calcular la transferencia de calor y generar ensayos en laboratorios, según dimensionamiento de los componentes de la estructura, cuyos datos pueden ser materia de un tercer estudio de costos y comparación frente a la vivienda tipo.

Bibliografía

- ANSELM, A. J. (2008). Passive annual heat storage principles earth sheltered housing, a supplementary energy saving system in residential housing. *Energía y edificios*, Elsevier, 40, 1214-1219. Recuperado el 3 de Octubre del 2012, de la base de datos SCIENCE DIRECT.
- AL-SALLAL, K. A. (2012). *Designing a sustainable house in desert of abu dabi. Energía renovable*, Elsevier, 1-5. Recuperado el 5 de Mayo del 2012, de la base de datos SCIVERSE.
- CASEN, (2009). *Formación de los hogares. En encuesta CASEN*. Recuperado el 3 de Junio del 2012, de http://www.ministeriodesarrollosocial.gob.cl/casen2009/RESULTADOS_CASEN_2009.pdf
- CLIMATICO, C. I. (2012). Energía. En *Guía práctica para el cálculo de emisiones de gases efecto invernadero (GEI) (Capítulo 2)*. Recuperado el 10 de Julio del 2013, de http://www20.gencat.cat/docs/canviclimatic/Home/Politiques/Politiques%20catalanes/La%20mitigacio%20del%20canvi%20climatic/Guia%20de%20calcul%20demiissions%20de%20CO2/110301_Guia%20practica%20calcul%20emissions_rev_ES.pdf
- CONGRESO NACIONAL. (2012). Indicadores demograficos. En Resporte estadisco comunal Recuperado el 10 de Septiembre del 2012, de <http://reportescomunales.bcn.cl/2012/index.php/Constituci%C3%B3n>
- CORREA, E. (2003). Isla de calor urbana: Efecto de los pavimentos, informe de avance. Asades. Instituto de Investigaciones en Energías No Convencionales, Universidad Nacional de Salta, de la base de datos INENCO.
- EL-EIKI, S. (2010). *Towards a deductive model for stuying air movement in underground buildings, with reference to Egypt* International Conference on Chemistry and Chemical Engineering (ICCCE 2010), 375-380, Recuperado el 18 de abril del 2012, de la base de datos de IEEEEXPLORE.
- E.R. HAJEK, F. D. (1975). Manual de consulta en *Bioclimatografía de Chile*. Recuperado el 6 de Mayo del 2013, de http://www.ecolyma.cl/documentos/bioclimatografia_de_chile.pdf
- GARCÍA, B. P. (2009). *La vivienda enterrada: estudio de su evolución tipológica y adaptación geográfica*. Recuperado el 3 de Agosto del 2012, de http://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/17597/1/IG_50_09.pdf

- FILIBERTO LEMBOA, F. MARINOA Y C. CALCAGNOA . (2011). Semi-underground house models as new concepts for urban sustainable environment, *Procedia Engineering, Elsevier*, 21, 570, 579, Recuperado el 22 de octubre del 2012, de la base de datos de SCIENCE DIRECT.
- HAIT, J. N. (2005). Improving the earth shelter en *Passive annual heat storage (cap. 1)*. Recuperado el 5 de Mayo del 2012, de <http://www.advancedhowto.info/ebooks/pahsintro.pdf>
- INE. (2010). Clima. En *medio ambiente: Informe anual (cap. 2)*. Recuperado el 13 de Octubre del 2012, en http://www.ine.cl/canales/chile_estadistico/estadisticas_medio_ambiente/pdf/Medio_Ambiente_2010_160212.pdf
- INFRACON S.A. (2006). Riesgos. En Estudio *plan regulador comunal de Constitución (cap. 10)*. Recuperado el 25 de Mayo del 2012, de http://seia.sea.gob.cl/archivos/a11_ANEXO_N_1_C_MEMORIA_EXPLICATIVA.pdf
- INSTITUTO EDUARDO TORROJA DE CIENCIAS DE LA CONSTRUCCIÓN. (2010). Materiales y productos. En *Código técnico de la edificación: Catalogo de elementos constructivos del CTE (cap. 3)*. Recuperado el 6 de Mayo del 2013, de http://www.codigotecnico.org/web/galerias/archivos/CAT-EC-v06.3_marzo_10.pdf
- JAFARIAN, S. (2010). *Performance analysis of a passive cooling system using underground cannel. Energy and Buildings, Elsevier*, 42, 559-562. Recuperado el 20 de Noviembre del 2012, de la base de datos SCIENCE DIRECT.
- MUNICIPALIDAD DE CONSTITUCIÓN. (2012). *Plan regulador comunal de Constitución: Informe ambiental*. Santiago, Chile: [s.n].
- SEGURA, B. A. (2002). *Evaluación del esquema de radiación solar de onda larga usado en el modelo CPTEC/COLA*. Recuperado el 13 de Julio del 2013, de http://www.met.igp.gob.pe/users/berlin/PUB/clima_berlin.PDF
- SILVA, A. (2010). El perfil sociodemográfico de un desastre: terremoto y tsunami en constitución, chile. En *Información a microescala: Los censos de población y vivienda y su explotación para la evaluación de desastres (cap. 4)* . Recuperado el 13 de Abril 2013, de http://www.eclac.cl/celade/noticias/paginas/1/39831/ASILVA_RESPINA.pdf
- SERWAY, R. A. (2005). *Física para ciencias e ingeniería. (6ª. ed., Vol1)*. Bogotá, Colombia.:Thomson
- TRENBERTH, K., J. T. KIEHL. (1997). Earth's Annual Global Mean. *Energy Budget. National Center for Atmospheric Research*, 78, 197-208. Recuperado el 15 de Abril del 2012, de la base de datos de la UNIVERSIDAD DE TEXAS.

VALDERRAMA, L. y MARTIN, P. Ecoeficiencia: Producir más con menos. Recuperado el 15 de Junio del 2012, de <http://www.cubaindustria.cu/pl/Contenido/Informaciones%20Interes%20Ecoeficiencia/Ecoeficiencia%20%20Producir%20m%C3%A1s%20con%20menos.doc>